



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

ANALÝZA RIZIK VYBRANÝCH HAVÁRIÍ

RISK ANALYSIS OF SELECTED ACCIDENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. VAKHRAMEEV NIKITA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. LUBOŠ KOTEK, PH.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Nikita Vakhrameev

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Metrologie a řízení jakosti (3911T032)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Analýza rizik vybraných havárií

v anglickém jazyce:

Risk analysis of selected accidents

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Významná rizika spojená s průmyslem odpovídají rychlým ekonomickým změnám, kterým se průmysl přizpůsobuje.

Zdrojem rizika u významných havárií (v rámci EU - dle Směrnice Rady 96/82/EC SEVESO II) je obvykle několik vybraných chemických látek (typové zdroje rizik), které se v průmyslu využívají nejčastěji.

Tato práce je zaměřena na vytipování těchto látek a analýzu rizik tzv. typových havárií.

Cíle diplomové práce:

1. Popsat vybrané závažné světové havárie.
2. Identifikovat typové havárie.
3. Provést analýzu rizik se zaměřením na následky havárie.

Seznam odborné literatury:

1. Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials : liquids and gases : yellow book. 3rd ed. Committee for the Prevention of Disasters (CPR), 1997.
2. Mannan, Sam. Lees' loss prevention in the process industries : hazard identification, assessment and control. 3rd ed. Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-7555-1.
3. ALOHA user's manual [online]. Washington : U.S. Environmental protection agency, 2007 [cit. 2011-09-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.epa.gov/OEM/content/cameo/aloha.htm>>.
4. BABINEC, František. Management rizika : Loss Prevention & Safety Promotion [online]. Brno : Slezská Universita v Opavě, Ústav matematiky, 2005 [cit. 2011-10-14]. Dostupné z WWW: <http://www.slu.cz/math/cz/knihovna/ucebni-texty/Analyza-rizik/Analyza-rizik-1.pdf/at_download/file>.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

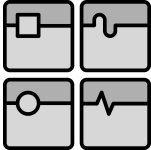
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 4.11.2011




doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je věnována analýze rizik vybraných havárií. Cílem je provést analýzu rizik na základě typových havárií, zdrojem kterých jsou únik chemických látek. Praktická část obsahuje vypočet zón ohrožení a jejich dopad pro každou látku, v případě úniku.

Klíčová slova

Modelování úniku, analýza rizik, typové havárie

ABSTRACT

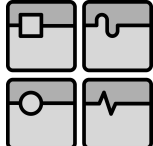
This subject of this thesis is the risk analysis of selected accidents. The aim is to analyze risk based on typical accidents, which are the main causes of chemical substances leakage. The practical part includes an estimation of the hazard zones and their impact on each substance, in case of leakage.

Key words

Modeling of leakage, risk analysis, typical accidents

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAKHRAMEEV, N. *Analýza rizik vybraných havárií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 73 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D..

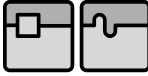
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Analýza rizik vybraných havárií** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Bc. Nikita Vakhrameev

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

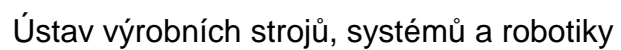
PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Lubošu Kotkovi, Ph.D. za vedení práce a všestrannou pomoc při zpracování práce.

.

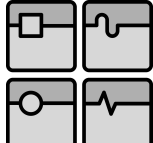
OBSAH

ÚVOD.....	10
TEORETICKÁ ČÁST	
1. Závažné světové havárie.....	11
1.1. Výbuch v Halifaxu 6 prosince 1917 (Kanada).....	11
1.2. Havárie 19 listopadu 1984 v San-Juan-Iksuatepeku (Mexiko).....	12
1.3. Havárie 4 ledna 1966 v Feyzene (Francie).....	16
1.4. Havárie 3 prosince 1948 v Bhópálu (Indie).....	19
2. Závažné havárie v SSSR a Rusku.....	20
2.1. Únik kapalného čpavku 20 března 1989 v Ionavě.....	20
2.2. Havárie 4 června 1989 Ufa (SSSR).....	21
2.3. Havárie 11 srpna 1989 Omsk (SSSR).....	22
2.4. Havárie 1990 Novoufumsk (SSSR).....	22
2.5. Havárie 2006 Čeboksary (Rusko).....	23
3. Popis softwarových nástrojů.....	24
3.1. Aloha – Areal Locations of Hazardous Atmosphere.....	24
3.2. Program ROZEX.....	29
3.3. Program EFFECT.....	29
3.4. Shrnutí.....	29
4. Identifikace typových havárie.....	30
5. Vlastnosti chemických látek.....	33
5.1. Čpavek.....	33
5.2. Chlór.....	33
5.3. Propan.....	34
5.4. Pentan.....	34
5.5. Ethanol.....	35
PRAKTICKÁ ČÁST	
6. Typové havárie.....	36
6.1. Modelování havárie – chlór.....	37
6.2. Modelování havárie – čpavek.....	39
6.3. Modelování havárie – propan.....	46
6.4. Modelování havárie – pentan.....	54
6.5. Modelování havárie – ethanol.....	62
6.6. Shrnutí.....	67



DIPLOMOVÁ PRÁCE

ZÁVĚR.....	71
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	72
Seznam použitých symbolů a zkratek.....	73

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ÚVOD

Významná rizika spojená s průmyslem odpovídají rychlým ekonomickým změnám, kterým se průmysl přizpůsobuje.

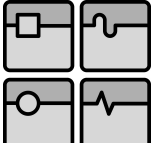
Za posledních 70 let došlo k řadě havárií v chemickém a ropném průmyslu, které vyvolaly znepokojení u veřejnosti. Tyto havárie byly doprovázeny výbuchy, požáry a úniky toxických látek. V důsledku těchto havárií bylo fatálně zraněno mnoho osob. Na základě místa havárií jako Flixborough nebo Seveso byly pojmenovány i důležité legislativní dokumenty, které stanovily směr managementu rizik v Evropě. Šok, způsobený takovými katastrofami, vedl k vývoji opatření k zajištění bezpečnosti u průmyslových technologií, ve kterých mohou vzniknout závažné havárie.

Aby bylo možné zhodnotit a pochopit závažnost havárií a jejich rozvoj je důležité vzít si ponaučení z historie.

Zdrojem rizika významných havárií mohou být chemické látky, které jsou v průmyslu používány. Aby bylo možné snížit pravděpodobnost nehod, je nutné zohlednit zdroj rizik a podmínky, ve kterých se nachází, jakož i příčiny, které mají potenciál způsobit poškození zdraví osob, ztráty na majetku nebo zničení životního prostředí. Proto, důležitou složkou pro prevenci havárijních situací jsou fyzikálně-chemické vlastnosti přítomných látek, technicko-bezpečnostní parametry a pracovní podmínky.

V dnešní době existuje možnost použití počítačových software, které mohou být použity pro modelování možných scénářů a následků havárií. K takovým programům patří Aloha, Effect, Rozex, Whazan, Degadis.

Cíl práce je popsat vybrané závažné havárie, na základě jich určit nejčastější zdroj rizika, identifikovat typové havárie a provést analýzu rizik se zaměřením na následky havárie pomocí softwarových nástrojů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

TEORETICKÁ ČÁST

1. Závažné světové havárie

Nárůst těžby ropy a zemního plynu vedl k nárůstu objemů výroby chemických látek a také ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu havárií. K haváriím docházelo vždy, při chemickém zpracování, manipulaci, skladování, plnění a dopravě, ve většině případů příčinami jsou lidské chyby. Dopady havárií mají negativní vliv na lidský organismus, floru, faunu a na životní prostředí obecně.

1.1. Výbuch v Halifaxu 6. prosince 1917 (Kanada)

K výbuchu došlo 6. prosince v roce 1917 v přístavu kanadského města Halifax. Nákladní loď „Mont Blanc“ měl délku 97,5 m, šířku 13,6 m a kapacitu 3 121 tun a byl postaven v roce 1899 v Anglii a patřil francouzské námořní společnosti „Generale Transatlantique“.

25 listopadu 1917 naložili loď v přístavu v New Yorku. Na loď naložili tekutou a suchou kyselinu pikrovou – 2300 tun; trinitrotoluen - 200 tun; piroxylin – 10 tun; benzol – 35 tun. Loď zamířila do Bordeaux pod vedením kapitána Aime Le Medeca.

Mezistanice byl Halifax, kde se formovali konvoje přes Atlantický oceán. „Mont Blanc“ připlul do vnějšího přístavu Halifax večer 5. prosince. Druhý den ráno kolem 7:00, „Mont Blanc“ začal plout do přístavu. Ve stejnou dobu, z přístavu začala vaplovat norská loď „IMO“. Když se lodě přiblížily, oba kapitáni začali dělat riskantní manévry, nakonec se norská loď ostrou přídílí zabořila do „Mont Blanku“ právě v prostoru choullostivého a nebezpečného nákladu. V tomto případě bylo rozbito několik sudů a benzol se rozstříkl po „Mont Blanku“, vlivem jisker, procházejících z tření rozervaného plechu trupů, okamžitě vzplanul. Sloup černého kouře stoupl do výšky 100 metrů.

Le Medec téměř okamžitě dal rozkaz opustit hořící loď. Všichni lidé z „Mont Blanku,” se úspěšně dostali na břeh. Loď se pohybovala dál setrvačností a proudem v zálivu, až narazila na molo nejužšího místa zalivu Narrows.

O složení nákladu na „Mont Blanku” věděl jen velitel přístavu. Všichni obyvatelé přistoupili blíže do oken v naději na lepší pohled na ojedinělé představení – hořící loď. V 9:06 došlo k výbuchu. Následky byly hrozné, počet mrtvých a zraněných byl obrovský. „Mont Blanc“ se rozletěl na tisíce kousků. Tlaková vlna smetla téměř celou severní část města. Více než 4000 lidí zemřelo. Celková škoda na majetku byla 35 milionů kanadských dolarů.

Většina odborníků myslí, že před příchodem atomové bomby, výbuch ke kterému došlo 6. prosince 1917 roku v Halifaxu byl nejsilnější výbuch.



Obr. č. 1: Výbuch v Halifaxu

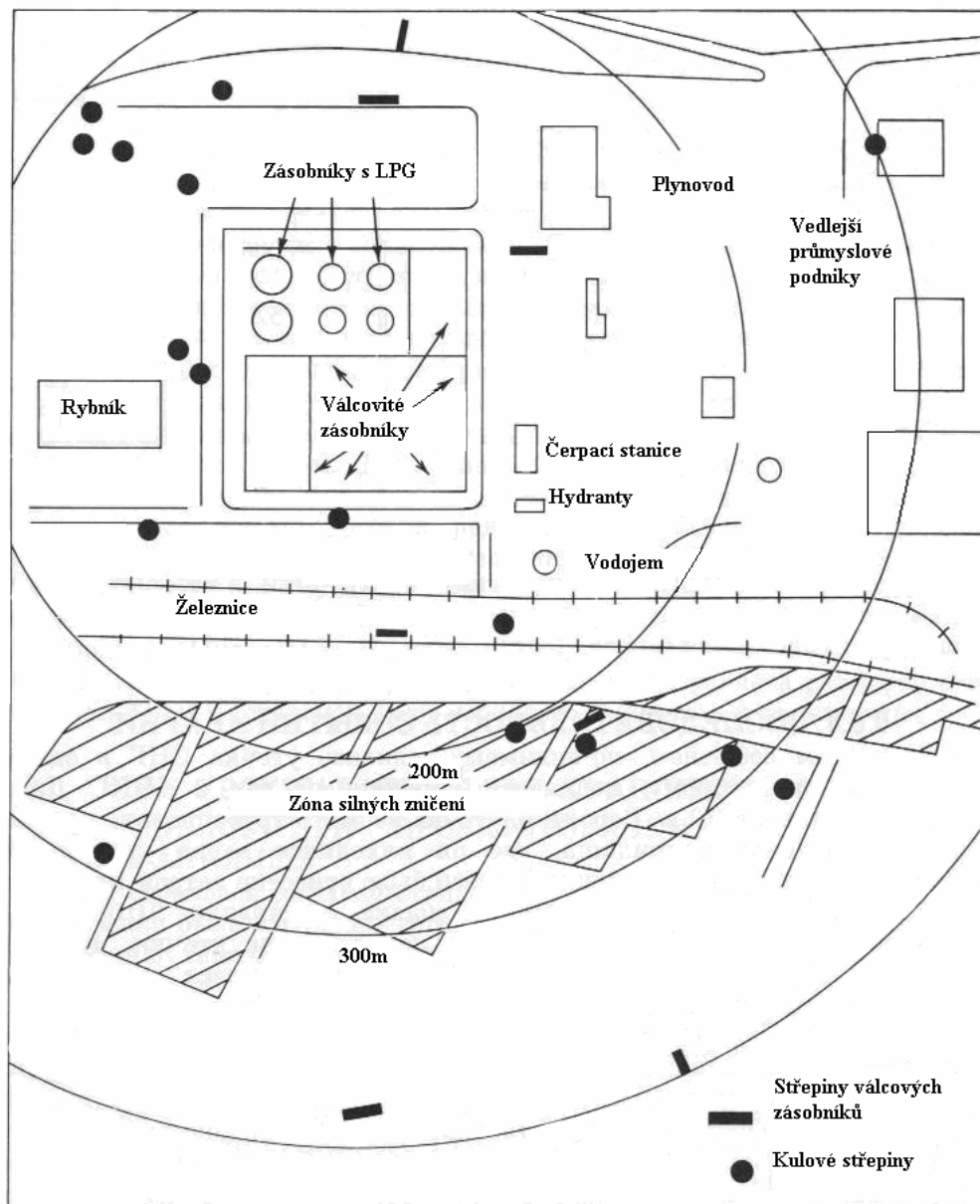
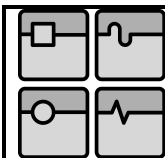
1.2. Havárie 19. listopadu 1984 v San-Juan-Iksuatepeku (Mexiko)

Popis havárie.

19. listopadu 1984 v 5:35 na okraji města došlo k sérii výbuchů, doprovázené požárem, trvajícím do 20 hodin. Ke katastrofě došlo ve skladiště zkapalněného ropného plynu, společnosti «PEMEX» - moderním podniku, odpovídající standardům Amerického ropného institutu. Skladiště bylo určeno pro získání LPG, dodávaného s okolních ropných rafinerií, skladování a dodávání spotřebitelům.

Struktura skladiště a jeho plnění v okamžiku havárie je na obrázku č. 2.

Skladiště obsahovalo 13 700 m³ LPG. LPG se skládal z 80% butanu a 20% propanu.



Obr. č. 2: Plán průmyslového podniku v San-Juan-Iksuatepeku

Tabulka č. 1. Počet LPG ve skladu.

Počet zásobníků a jejich tvar	Nominální kapacita každého zásobníku, m ³	Celková kapacita M ³	Naplnění, m ³
2 kulových	2400	4800	4320
4 kulových	1500	6000	3000
4 válcových	270	1080	972
14 válcovitých	180	2520	268
6 válcových	54	324	292
3 válcových	45	135	121
21 válcových	36	756	680
Celkem 54		15615	13653

Postup události havárie.

Iniciační událostí byl únik v jednom z potrubí, ve kterém proudil zkapalněný plyn. Průměr potrubí byl 0,2 m. Pravděpodobně k úniku z potrubí došlo v oblasti skladiště, které bylo nad úrovní země. Vznikl mrak, který byl posunován větrem na jihozápad. Rychlost větru byla 0,4 m/s. Rozměry mraku byly 200x150x2 m. K iniciaci došlo asi po 5-10 minutách po začátku úniku. Zdrojem zapálení byl polní hořák, který byl umístěn ve vzdálenosti 100 m od místa úniku. Vzplanutí bylo doprovázeno výbuchem, který vedl k vytvoření ohnivé koule, která se pusovala do výše. Přibližně 10 domů začalo hořet po počátečním zapálení. Po 12 minutách kulový zásobník explodoval. V důsledku toho se vytvořila ohnivá koule o průměru 100 m. Během další hodiny došlo k sedmi silným výbuchům. Explodovaly téměř všechny válcové zásobníky, které byly vyřazeny v různých vzdálenostech v jižním směru, jelikož tepelné zatížení požáru padlo na jejich severní části. Na stanici LPG explodovaly plynové lahve, jejich počet se počítá ve stovkách.

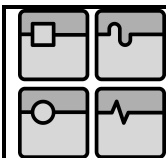
Následky havárie.

V důsledku těchto událostí zemřelo nejméně 500 lidí, 7 231 bylo zraněno, z nichž 144 zemřelo v nemocnici. Téměř všechny domy ve vzdálenosti 300 m byly silně poškozeny. Byly tam početné výbuchy plynu uvnitř budov. Mnoho lidí bylo vážně popáleno v důsledku rozstříku LPG.

Chyby při projektování a provozu plynového skladiště.

Skladiště bylo postaveno podle norem přijímaných v USA. Zařízení bylo také americké výroby. Nicméně, v tomto případě došlo k následujícím chybám: plocha skladiště byla příliš malá; hasicí systém byl navržen tak, aby mohl hasit jenom malý požár, protože se nacházel centru skladování hořlavých látek. Čerpací stanice byla jen 50 m od skladiště. Rozměry plochy skladiště byly 110÷120 m, to je 13 200 m². To znamená, že bylo skladováno 450 kg/m² LPG. Vysoká hustota obyvatelstva okolo skladiště vedla ke zvýšení počtu obětí mezi obyvatelstvem.

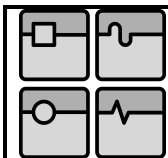
Pokud by existoval systém automatického uzavírání armatur na potrubí v případě nehody, bylo by možné se katastrofě vyhnout.



Obr. č. 3: Havárie v San-Juan-Iksuatepeku



Obr.č. 4: Havárie v San-Juan-Iksuatepeku

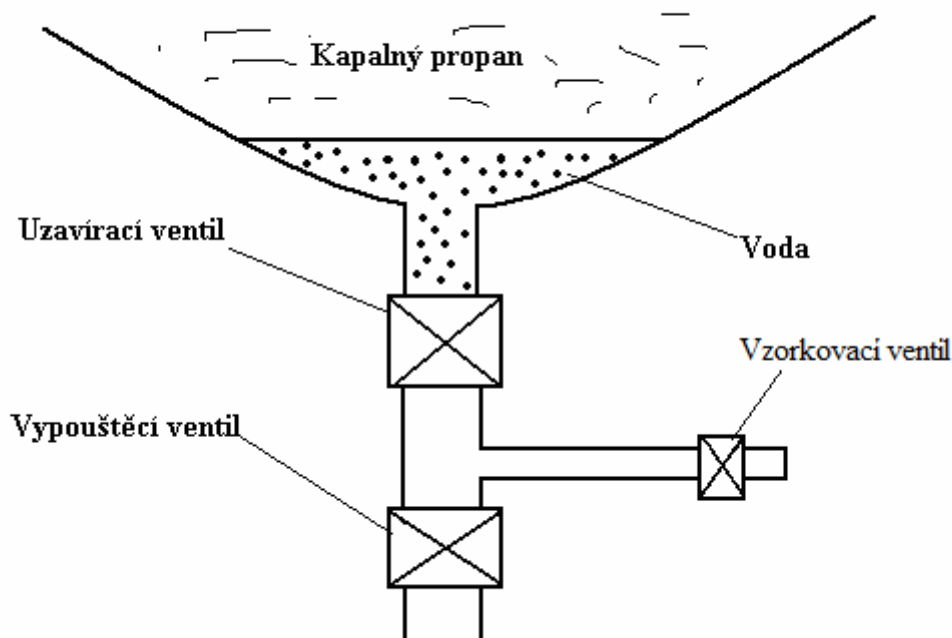


Obr. č.5: Havárie v San-Juan-Iksuatepeku

1.3. Havárie 4. ledna 1966 v Feyzene (Francie)

Ráno 4. ledna 1966 kolem 6:30 operátor rafinerie v Feyzenu se pokusil provést každodenní technologické operace – odpustit vodu, která byla v kulovém zásobníku s propanem s kapacitou 1 200 m³. Zásobník byl naplněn ze tři čtvrtin, a proto obsahoval 450 tun propanu. Teplota vzduchu byla 0 °C a v systému odpuštění vody (odkalování) ze zásobníku se vytvořil uzávěr z ledu. Operátor otevřel úplně oba ventily a nečekaně z nich vytryskl proud tekutin. V tomto období jediný klíč, který byl připojen ke spodnímu ventilu, spadl na zem, a zvednout jej už nebylo možné. Vytvořil se mrak par propanu. Bylo bezvětrno, proto mrak se začal šířit ve všech směrech. K vznícení mraku došlo v 7:35 , to je 35 minut po začátku úniku.

Tlak v zásobníku byl původně 0.7 MPa, pak z důvodu tepelné zátěže na dolní část zásobníku tlak se začal rychle stoupat. Z otevřených pojistních ventilů zásobníku unikly proudy hořícího plynu do výšky 30 metrů.



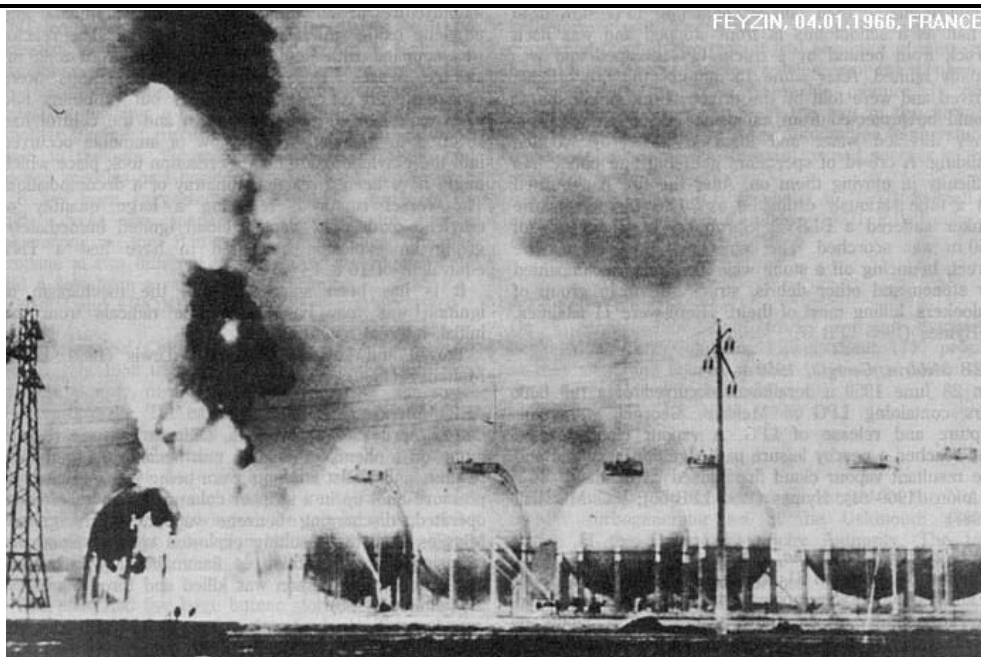
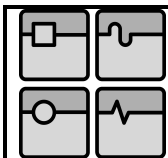
Obr. č. 6: Systém odtoku vody

V důsledku toho došlo k prasknutí zásobníku, ke kterému došlo po 2 hodin od začátku nehody, se vytvořila ohňová koule, která zabila 17 lidí, z nich 11 hasičů, 80 lidí bylo zraněno. Také byly zraněny osoby, které byly ve vzdálenosti do 300 metrů od zásobníku. Dál došlo k explozi čtyř kulových zásobníků a došlo k požáru zásobníků s benzinem a olejem. Požár byl uhašen za 48 hodin.

Analýza příčin a důvodu havárie.

1. Špatná konstrukce systému odpouštění zásobníku; odpadní potrubí mělo směřovat směrem od zásobníku a ne přímo pod dolní části zásobníku, jako v tomto případě. Na potrubí odpouštění chyběly uzávěry s dálkovým ovládáním.
2. Nesprávné zhodnocení situace lidmi, zapojenými do likvidace nehody.
3. Nedostatek stacionárních sprinklerových systémů na kulových zásobnících, které by mohli omezit přehřátí.
4. Nedostatečná spolupráce mezi hasiči z Lyonu a místními požárními odděleními a zaměstnanci podniku. Nedostatek připraveného havarijního plánu.


K havárii v Feyzene, jako k mnohým haváriím v chemickém a ropném průmyslu, došlo v důsledku řady chybných činů spáchaných jak při návrhu a výstavbě, tak i při omezování důsledků nehody.



Obr. č. 7: Havárie v Feyzene



Obr. č. 8: Havárie v Feyzene

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1.4. Havárie 3. prosince 1984 v Bhópálu (Indie)

Bhopalská katastrofa – následky havárie v chemickém podniku Union Carbide v Bhópálu. K nehodě došlo ráno 3. prosince 1984, která způsobila smrt nejméně 18 000 lidí, 3 000 z nich zemřelo v den tragédie a 15 000 v následujících letech. Celkový počet obětí se odhaduje na 150 až 600 tisíc osob. Tyto údaje nasvědčují tomu, že tragédie v Bhópálu největší katastrofa ve světě po počtu obětí.

Závod společnosti Union Carbide vyráběl methyloksyanát. Methyloksyanát se skladoval ve třech zásobnících, z nichž každý mohl pojmut 60 tisíc litrů kapaliny.

Příčinou tragédie byl náhodný vývěr pár methyloksyanátu, který se ohřál v zásobníku nad bod varu – 39 °C, což vedlo ke zvýšení tlaku a rozervání pojistného ventilu. V důsledku toho bylo 3. prosince 1984 od 0:30 do 2:00 uvolněno do atmosféry 42 tun toxických par. Mrak methyloksyanátu pokryl přilehlé budovy a vlakové nádraží. Velký počet obětí byl kvůli vysoké hustotě obyvatelstva v okolí podniku, opožděnému varování obyvatelstva, nedostatku zdravotnického personálu a také nepříznivými povětrnostními podmínkami – mrak pár byl rozptýlen větrem.

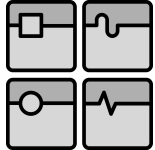
Příčina havárie je dosud oficiálně neznáma. Mezi různými neoficiálními příčinami převažuje hrubé porušení bezpečnostních předpisu.

Některé noviny v roce 1984 oznámily, že majitelé závodu v prvních hodinách úmyslně nesdělili složení uniklých toxických látek, aby nedošlo k prozrazení obchodní tajemství společnosti. Toto zvýšelo počet obětí, protože lékaři nebyli schopni najít efektivní léčbu.

Union Carbide v roce 1987 vyplatila obětem nehody 470 milionů dolarů.



Obr. č.9: Bhópál 1984

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2. Závažné havárie v SSSR a Rusku

2.1. Únik kapalného čpavku 20. března 1989 v Ionavě (SSSR)

20. března 1989 v 11:15 v podniku «AZOT» ve městě Ionava došlo k havárii, dodnes tato nehoda nemá analogii v rozsahu úniku nebezpečných chemických látek. Skutečnost, že se nehoda neproměnila v obrovskou tragédii se stovkami nebo dokonce tisíci obětí, závisí ve velké míře na štěstí.

Podnik «AZOT» byl jedním z největších kombinátů pro výrobu hnojiv, zejména dusičnanu amonného. Čpavek se skladoval ve velkých zásobnících. Zásobník byl určen pro skladování podchlazeného kapalného čpavku s hustotou 680 kg/m^3 s vnitřním tlakem 0,002—0,008 MPa, s teplotou od -32°C až -34°C , výpočtový přetlak v zásobníku byl 0,01 MPa. Objem zásobníku byl $15\,322 \text{ m}^3$, maximální kapacita kapalného čpavku —10 000 tun, maximální výška kapaliny —21,3 m.

Čpavek byl skladován, stejně jako ve většině z těchto společností, na jednom místě ve velkých zásobnících. Zásobník s aktuálním množstvím 7 000 tun kapalného čpavku při teplotě -34°C , náhle praskl. Příčina havárie spočívala v prasknutí víka zásobníku, vzniklého v důsledku stárnutí nebo vnitřní vady při výrobě. Pro silný proud tlakového čpavku pojistné ventily nebyly použitelné.

Během několik minut po požáru hasiči rozvinuli zásah. Skrápěli vodou, která snadno pohlcuje čpavek, což snižuje odpařování. Tak byla neutralizována část uniklého čpavku.

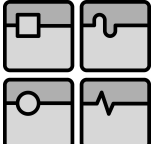
Nedaleko od zásobníku se čpavkem se nacházelo silo s dusičnanem amonným, v něm kde bylo 24 000 tun hnojiva, dusičnan amonný se samovolně rozkládá při skladování v důsledku lokálního přehřátí, stačí 40°C a jako důsledek skladiště začalo hořet. Výška sloupce ohně byla několik desítek metrů. Skladiště začalo hořet a kolem celého areálu podniku se rozptyloval čpavek.

Při rozkladu dusičnan amonný uvolňuje nebezpečné toxické plyny, pro zamezení rozkladu bylo nutné nadávkovat do skladu takové množství vody, aby všechny pytle s dusičnanem amonným byly namočený. Zásah trval čtyři dny.

Tragické následky nehody byli minimální ze tří důvodů:

1. Správné činnosti operátorů;
2. Přítomnosti spolehlivých průmyslových dýchacích přístrojů pro pracovníky;
3. Příznivé atmosferické podmínky.

V průběhu havárie byli evakuováni pracovníci z podniku «AZOT», a také byla prováděna postupná evakuace obyvatelstva z nebezpečných oblastí, v závislosti od změny směru mraku toxických látek. Bylo evakuováno 32 tisíc osob. V důsledku havárie bylo zraněno 57 osob a 7 osob zamřelo.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.2. Havárie 4. června 1989 Ufa (SSSR)

Vedle města Ufa 4. června 1989 došlo k největší v historii Ruska a SSSR železniční katastrofě. V době průjezdu dvou vlaků № 211 «Novosibirsk-Adler» a № 212 «Adler-Novosibirsk» došlo k silnému výbuchu lehkých uhlovodíků, v důsledku nehody v potrubí «Sibiř-Ural-Povolžje». Zamřelo 575 osob, 600 osob bylo zraněno.

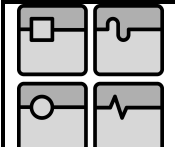
Po potrubí « Sibiř-Ural-Povolžje » přepravovali zkapalněný plyn a v tomto potrubí se vytvořila úzká štěrbina o délce 1,7 metrů. Vzhledem k tomu že v potrubí vznikl únik a při speciálních povětrnostních podmínkách plyn byl nahromaděn v nížině, již probíhalo asi 900 metrů železnice – «Trans-sibiřska magistrála». Přibližně tři hodiny před havárií zařízení hlásilo pokles tlaku v potrubí. Avšak namísto hledání úniku se zaměstnanci rozhodli zvýšit dodavku plynu pro vyrovnání tlaku. V důsledku těchto opatření přes trhliny v potrubí pod tlakem uniklo velké množství propanu, butanu a jiných hořlavých uhlovodíků. K iniciaci směsi plynů mohlo dojít kdykoli od náhodné jiskry. Obsluha projíždějících vlaků upozornila dispečera, že na trati je silná přítomnost plynu, ale nikdo tomu nevěnoval pozornost.

V 01:15 místního času v okamžiku setkání dvou vlaků došlo k silnému výbuchu plynu a vypukl obrovský požár. Ve vlacích bylo asi 1284 cestujících. Tlaková vlna vykojila 12 vozů, z nich 7 úplně shořelo.

Síla výbuchu byla taková, že tlaková vlna vyrazila okna ve městě Aša, které se nachází více než 10 kilometrů od místa havárie. Sloup plamene byl viděn v okruhu větším než 100 kilometrů. Zničeno bylo 350 metrů železnice. Z důvodu výbuchu zasáhl požár oblast přibližně 250 hektarů.



Obr. č.10: Železniční katastrofa vedle města Ufa

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

2.3. Havárie 11 srpna 1989 Omsk (SSSR)

V prosinci 1989 na výrobní sdružení «Omsk-chimprom» došlo k výbuchu aerosolového polystyrenu v místě jeho skladování. Skladiště polystyrenu bylo postaveno z ocelového plechu v podobě vertikálních válcových zásobníků o průměru 10 metrů a výšce 60 metrů s vnější tepelnou izolací.

Během provozu se hromadil prach polystyrenu na stavebních strukturách a výrobním zařízení v množství dostatečném pro vznik výbuchu. K prvnímu výbuchu prachu polystyrenu došlo ve skladišti, kde byly prováděny svařovací operace. Výbuch se z centrální šachty rozšířil do dalších místností. Výbuch úplně zničil skladiště, stavební konstrukce a stěny. K výbuchu došlo v důsledku porušení základních požadavků na bezpečnost: byly prováděny svařčeské práce vysoké koncentraci prachu v místnosti, byla povolena práce vadného elektrického zařízení. Zdrojem vnícení prachu byl zkrat v elektrické kabeláži a jiskry z elektrického zařízení. Všichni zaměstnanci zemřeli.

2.4. Havárie 1990 Novoufumsk (SSSR)

Exploze směsi, která obsahovala velké množství lehkých plynů (75% vodíku a 25% metanu), ke které došlo v prosinci 1990 na rafinérii v Novoufimsku, která vyrábí 1 milion tun benzínu ročně. K nehodě došlo během krátké odstávky systému, která měla vyřešit poruchu zařízení pro přenos tepla. Technologická odstávka byla provedena při částečném odplynění zařízení, při sníženém tlaku v aparátu z 2,7 MPa až na 1,7 MPa a při nízké rychlosti snížení teploty, přibližně 50 °C za hodinu, tedy z 499 °C na 415 °C. V 17:00 se objevil malý únik na potrubí, v místě výstupu plynu z reaktoru a jeho vstupu do výměníku tepla ve výšce 3 metry nad zemí. Únik se trvale zvyšoval a při pokusu snížit tlak v systému se zvýšil únik plynu do atmosféry. K výbuchu plynu v atmosféře došlo za 23 minut po úniku.

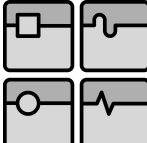
Předpokládá se, že výbuch byl iniciován pevnými částicemi kovů a oxidů železa. Při nehodě se uvolnilo do atmosféry za 10 sekund asi 100 m³ plynu hmotnosti 210 kg. Výbuch zabil 10 lidí, z nichž jeden zemřel v důsledku zavalení rozpadajících se budov.

2.5. Havárie 2006 Čeboksary (Rusko)

V srpnu 2006 ve městě Čeboksary v podniku «Chimprom» došlo k nehodě spojené s únikem chlóru. V Rusku «Chimprom» je jeden z největších podniků chemického průmyslu. V současné době je jeho hlavní činností výroba a prodej chemických výrobků pro průmyslové použití: neorganické a chlorované organické sloučeniny, polymery, změkčovadla, rozpouštědla a chladicí kapaliny.

V okamžiku havárie skladiště obsahovalo osm válcových horizontálních zásobníků o objemu 80m³.

V podniku «Chimprom» podle technologických pravidel v nepřetržitém režimu probíhal proces výroby kapalného chlóru. Ve 21:50 odpovídaly parametry odpařování kapalného chlóru ve výparníku požadavkům, předpisům a návodu k obsluze. Ve 22:00 došlo k signalizaci automatického signálu úniku chlóru (zvuková a světelná signalizace), obsluha byla upozorněna na překročení maximální přípustné koncentrace chlóru. V okamžiku, když došlo k alarmu, operátor zjistil na displeji, že došlo k překročení maximální přípustné

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

koncentrace chlóru na výparnicích číslo 31,32 a 33, a monitorovací přístroje ukazují pokles pH vody ve výparníku číslo 33, operátor předpokládal, že došlo k odtlakování. Namísto zastavení systému odpařování se operátor rozhodl spustit výparník číslo 32, který nebyl v provozu několik měsíců, s vědomím, že tam je vadný pH metr, a žádná zkouška těsnosti výparníku se neprovádí. Operátor otevřel ventil do vstupu kapalného chlóru do výparníku číslo 32, a tím byl výparník zařazen do provozu, byl otevřen ventil na výstupu z odpařeného chlóru, podle vysvětlení operátorů. Vyšetření ukázalo, že tyto ventily jsou vadné – v uzavřené poloze prosakoval kapalný a odpařený chlór.

K úniku došlo v důsledku vzniku netěsností a úniku chlóru do prostoru skladu. Kvůli netěsnosti v plášti objektu se plyný chlór dostal do ovzduší. Během nehody uniklo 18 tun chlóru. K likvidaci havárie došlo v 6:45. V důsledku havárie, která vedla k uvolnění chlóru do ovzduší, bylo 21 osob zraněno, 2 osoby zemřely.

Příčinou nehody bylo:

- Provoz vadného zařízení,
- Nesprávná činnost zaměstnanců a úředníků v potlačení haváriijní situace,
- Vadné ventily.

3. Popis softwarových nástrojů

Při analýze následků havárií lze použít počítačové programy. Nabízí se celá řada program, jako jsou ROZEX, ALOHA, TerEx, EFFECT nebo WHAZAN. Tyto softwarové programy umožňují zohlednit vlastnosti unikajících chemických látek, atmosférické podmínky a odhadnout rozsah vlivu uniklé látky na okolní prostředí. S pomocí těchto programů je možné získat orientační údaje, určit maximálních projevy a následky havárie.

3.1. Aloha – Areal Locations of Hazardous Atmosphere

Aloha je počítačový program určený k získání údajů o úniku nebezpečných látek, byl vyroben společností NOAA (Oceanic and Atmospheric Administration). Obsahuje velké množství chemických látek a informace o jejich vlastnostech. Jazyk programu je angličtina. Program je možné používat jenom v operačním systému Windows, nebo Apple. Program Aloha nemůže ukázat: chemické reakce látek, částice, chemické směsi, nebezpečné zbytky.

V programu jsou nadefinovány pouze města v USA, ale je možné přidat jakýkoliv město a tím vykreslit následky do mapy. Program obsahuje databázi 652 chemických látek. V programu jsou informace o stavu atmosféry: rychlost a směr větru ve všech směrech, drsnost zemského povrchu, oblačnost, teplota vzduchu, třídy atmosférické stability, inverze, vlhkost.

V programu jsou čtyři typy zdrojů a každý má své vlastní parametry.

1. Příímý – tento zdroj se používá, pokud je známo přesne množství uniklé látky. Tam jsou tři parametry:

- Typ úniku (okamžitý nebo kontinuální únik),
- Množství uniklé látky do atmosféry a rychlost úniku, když je kontinuální únik,
- Výška zdroje nad úrovní země.

Výsledkem je doba uvolňování a rychlost uvolňování látky a její celkové množství úniku.

V programu také je grafické výsledky, při tomto typu zdroje je možné analyzovat toxickou oblast mraku par, hořlavou oblast a výbušnou oblast. Při volbě výbušné oblasti tam jsou tři parametry:

- čas iniciace (minuty nebo sekundy),
- typ iniciace (vznícení od jiskry nebo vznícení od detonace),
- druh terénu (les nebo obytná oblast).

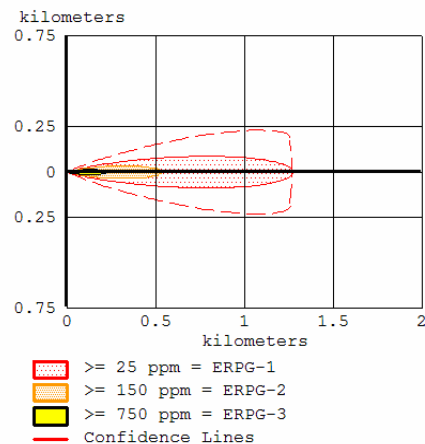
SITE DATA:
 Location: AMES, IOWA
 Building Air Exchanges Per Hour: 1.04 (unsheltered single storied)
 Time: March 22, 2012 1533 hours CDT (using computer's clock)

CHEMICAL DATA:
 Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol
 AEGL-1(60 min): 30 ppm AEGL-2(60 min): 160 ppm AEGL-3(60 min): 1100 ppm
 IDLH: 300 ppm LEL: 160000 ppm UEL: 250000 ppm
 Ambient Boiling Point: -34.1° C
 Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
 Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
 Wind: 5 meters/second from N at 3 meters
 Ground Roughness: open country Cloud Cover: 5 tenths
 Air Temperature: 20° C Stability Class: D
 No Inversion Height Relative Humidity: 50%

SOURCE STRENGTH:
 Direct Source: 100 kilograms Source Height: 0
 Release Duration: 1 minute
 Release Rate: 1.67 kilograms/sec
 Total Amount Released: 100.0 kilograms
 Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow.
 Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.

THREAT ZONE:
 Model Run: Gaussian
 Red : 1.3 kilometers --- (25 ppm = ERPG-1)
 Orange: 534 meters --- (150 ppm = ERPG-2)
 Yellow: 220 meters --- (750 ppm = ERPG-3)



Obr. č.11: Textový výsledek z programu Aloha

Na obrázku číslo 11 je toxická nebezpečná zóna a všechny údaje jako místo, údaje o chemické látce, atmosférické podmínky a druh zdroje.

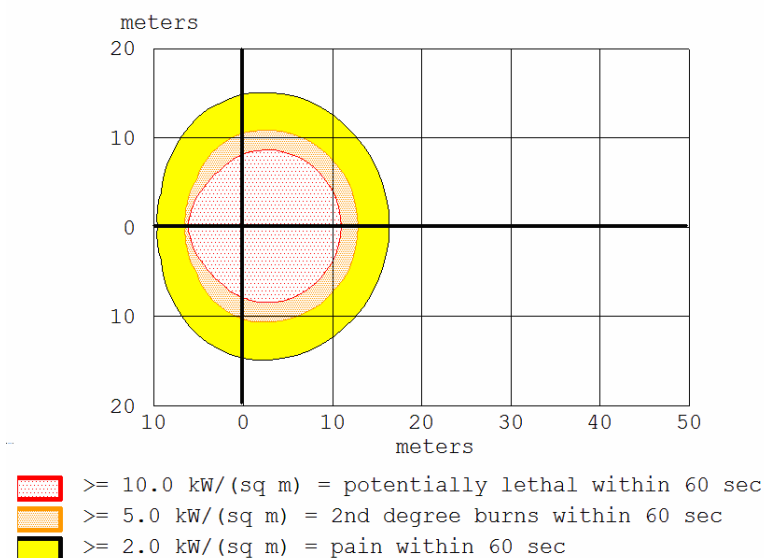
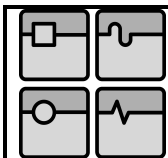
2. Louže – tento zdroj se používá při situace, když kapalné látky hoří v louži. Jsou dva druhy louží: vypařování kapaliny z louže a hoření v louži.

Při výpočtu se používá následující parametry – plocha louže, objem, hloubka nebo hmotnost louže, druh povrchu, teplota povrchu a teplota úniklé látky.

Grafické a textové výsledky budou stejné jako u přímého typu zdroje, v případě výběru modelu - vypařování kapaliny z louže, program ukáže únik látky během 1 hodiny.

Ve scénáře «hoření v louže» výsledkům budou:

- Textový výsledek – délka plamene, doba hoření (omezená do 1 hodiny), rychlost hoření a celkové množství spálené látky.
- Grafický výsledek – tepelné záření od hoření v louži.



Obr. č. 12: Grafický výsledek hoření v louže

Červená zóna – smrtelná zóna během 60 sekund

Oranžová zóna – popálenina druhého stupně

Žlutá zóna – účinek bolesti

3. Zásobník – tento zdroj se používá když je únik látky z poškozeného zásobníku.

Parametry – druh zásobníku: kulový, válcový; a jeho parametry jako délka, výška a objem, stav látky v zásobníku (kapalné nebo plynné látky), teplota látky v zásobníku, hmotnost a objem, druh (obdélníkový nebo kulatý) a průměr otvoru, typ úniku (únik skrz otvor nebo krátké potrubí), výška otvoru v zásobníku, druh a teplota povrchu.

Jsou tři typy scénářů:

- Únik ze zásobníku, chemická látka nehoří a uniká do atmosféry. Textový výsledek ukazuje dobu uvolňování chemické látky, rychlost úniku, celkové množství uniklé látky ze zásobníku a průměr louže.
- Únik ze zásobníku, chemická látka hoří jako «jet fire» nebo «pool fire». Závisí na tom, jaká látka se používá.

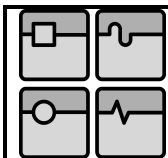


Obr. č.13: Pool Fire a Jet Fire

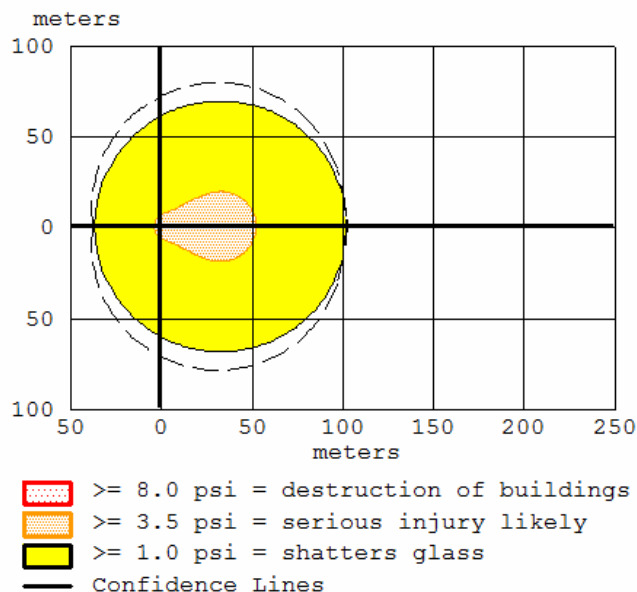
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion), výbuch zásobníku a vznik ohnivé koule. Tady jsou tři parametry: podíl hmotnosti v ohnivé kouli, tlak uvnitř zásobníku, teplota uvnitř zásobníku při poruchě. Textový výsledek v tomto případě bude průměr ohnivé koule a doba trvání hoření. Grafický výsledek bude stejný jako u zdroje «Louže».

4.Potrubí – tento zdroj se používá při modelování úniku z potrubí, ale není možné používat pro kapalně látky. Parametry – průměr a délka potrubí, potrubí je připojen do zásobníku nebo ne, tlak v potrubí a teplota. Existují dva scénáře:

- Únik plynu z potrubí, nehoří. Textovými výsledky jsou doba uvolňování, rychlost úniku a celkové množství uniklé látky. Grafické výsledky jsou toxická oblast, hořlavá oblast a výbušná zóna.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

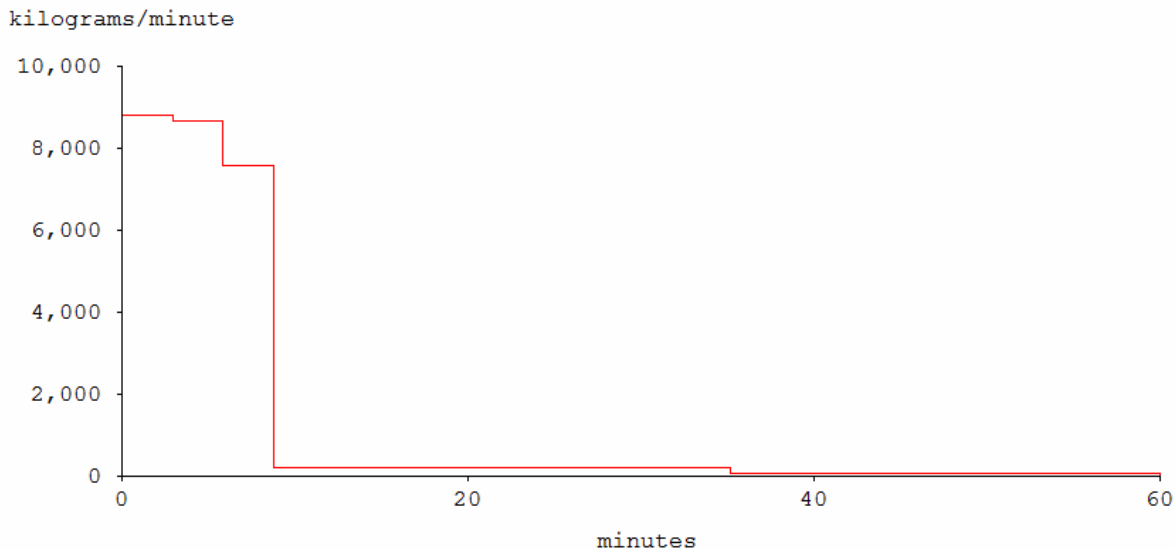


Obr. č.14: Výbušná zóna

Na obrázku číslo 14 jsou tři zóny. První zóna (červená) ukazuje oblast silných zničení, zničení objektů. Druhá (oranžová) – pravděpodobnost vážných zranění. Třetí (žlutá) – rozbití skla.

- Plyn hoří jako «Jet Fire». Textový výsledek – program Aloha omezuje dobu hoření během 1 hodiny, ukazuje maximální rychlost hoření plynu, celkové množství spáleného plynu.

U všech scénářů, kromě BLEVE, je možné zobrazit rychlost úniku látky ze zásobníku nebo rychlost hoření látky.



Obr. č.15: Rychlost úniku látky v závislosti na čase

3.2. Program ROZEX

Výrobce je TLP, spol. s r.o. ve spolupráci s Medistyl s.r.o., Česká republika. ROZEX je počítačový nástroj, obsahuje databázi 10000 chemických látek. Program je určen pro prognózování vzniku havárie spojené s únikem nebezpečné chemické látky a také pro předvídání následků havarijních událostí v rámci analýzy a hodnocení rizik. V programu jsou 19 různých havarijních scénářů a pro ně jsou jednorázové a kontinuální únik ze zařízení. Na základě typu úniku a fyzikálně chemických vlastností látky ROZEX schopen modelovat různé tvary oblaku s následkem intoxikace, výbuchu a hoření látky.

Při modelování v programu ROZEX alarm nutně zvolit další parametry:

- Druh uniklé látky (plyn, kapalina),
- Typ úniku (jednorázový nebo kontinuální),
- Teplota látky,
- Množství uniklé látky, hmotnost,
- Rychlost větru,
- Třidu atmosférické stability,
- Typ povrchu pro šíření oblaku.

Získané výsledky je možno vyexportovat do mapových podkladů geografického informačního systému.

3.3. Program EFFECT

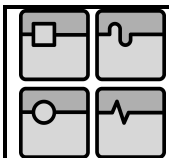
Výrobce je TNO Environment, Energy and Process Innovation, Nizozemí. Program obsahuje databázi 68 chemických látek a zobrazuje jejich vlastností při zvolené teplotě. V programu jsou několik typů modelů:

- Účinky tepelné radiace při požaru,
- Rychlost výtoku plynu nebo kapaliny,
- Rozptyl neutrálního plynu,
- Rychlost výpařování uniklé látky,
- Účinky výbuchu oblaku par.

Získané výsledky lze vytisknout v textové formě nebo zobrazit jako grafickou závislost ve formě jednoduchého grafu.

3.4. Shrnutí

Pro modelování typických havárií byl vybrán software ALOHA, protože obsahuje všechny potřebné scénáře, je mezinárodně rozšířený a dobře dostupný – volná dostupnost programu na internetu, je snadno pochopitelný a nabízí širokou paletu modulů.



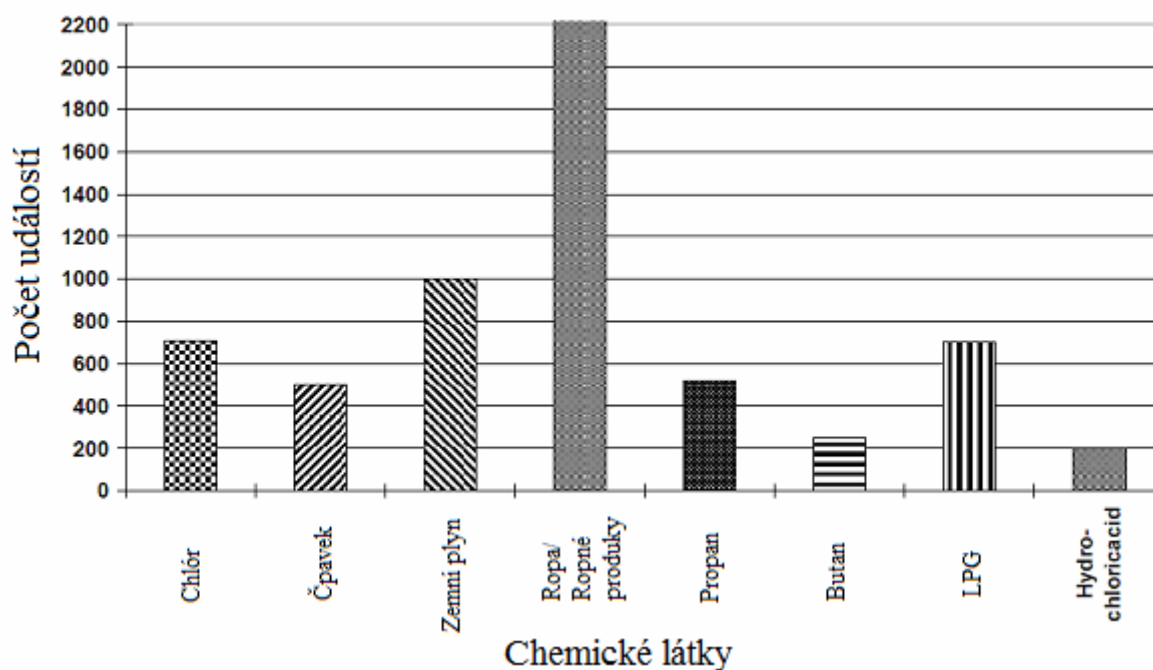
4. Identifikace typových havárie.

Klíčové z hlediska prevence havárií a havarijní připravenosti je odhalení příčiny havárie. Typy havárií jsou přírodní a antropogenní.

Přírodní mimořádné události vznikají působením přírodních sil ve formě seismické aktivity, vulkanických činností, pohyby vodní hladiny a extrémních meteorologických jevů. Antropogenní mimořádné události jsou důsledkem lidské aktivity, jejich příčina je selhání lidského činitele nebo techniky.

V této práci jsou diskutovány pouze antropogenní průmyslové havárie způsobené únikem nebo reakcí chemické látky. Hlavní příčiny nehod jsou:

- nevhodné umístění potenciálně nebezpečných průmyslových objektů,
- technologická zaostalost výroby, nízká míra zavedení úspor energie a další technologicky vyspělé a bezpečné technologie,
- zvýšení dopravy, skladování a používání nebezpečných nebo škodlivých látek a materiálů,
- nízká odborná úroveň zaměstnanců, kultury práce, nedostatečná kvalifikace personálu,
- nízká odpovědnost úředníků, pokles průmyslové a technologické disciplíny,
- nedostatek kontroly nad stavem potenciálně nebezpečných objektů, nespolehlivost systému kontroly nebezpečných nebo škodlivých faktorů,
- nedodržení bezpečnostních předpisů při práci.



Obr. č.16: Vztah mezi počtem událostí a typem chemické látky

Na obrázku číslo 16 lze vidět statistiku za poslední několik roků podle nejčastějších zdrojů rizika. Na prvním místě jsou nehody spojené s ropným průmyslem. Na druhém místě jsou nehody spojené ze získáním a používáním zemního plynu. Na třetím místě je nehody spojené s chlórem. Podle těchto údajů je vhodné uvést podrobnější statistiku nehod na základě určitých látek, jako chlór, čpavek, propan.

Tabulka č. 2. Údaje spojené s únikem chlóru.

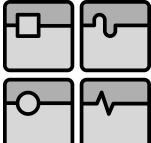
Datum havárie	Místo havárie	Skladiště chlóru	Hmotnost oblaku, tun	Počet mrtvých
10 prosince 1976	Baton Rouge, Louisiana, USA	Zásobník	90	0
5 listopadu 1947	Rauma, Finsko	Zásobník	30	19
30 prosince 1962	Cornwall, Kanada	Železniční cisterna	28	0
13 března 1965	Griffith, Indiana, USA	Železniční cisterna	27	0
31 ledna 1965	La Barre, Louisiana, USA	Železniční cisterna	27	1
13 prosince 1926	Saint – Auban, Francie	Zásobník	24	19
10 května 1929	Syracuse, New York, USA	Zásobník	24	1
24 prosince 1939	Zerneshti, Rumunsko	Zásobník	24	60
V roce 1917	Uayandott, Michigan, USA	Zásobník	17	1

Tabulka č. 3. Údaje spojené s únikem čpavku.

Datum havárie	Místo havárie	Skladiště čpavku	Hmotnost oblaku, tun	Počet mrtvých
5 června 1971	Floran, Arkansas, USA	Potrubí	600	0
7 května 1976	Enid, Oklahoma, USA	Potrubí	500	0
6 prosince 1973	Conway, Kansas, USA	Potrubí	277	0
16 ledna 1976	Landskruna, Švédsko	Potrubí	180	2
13 července 1973	Potchefstrum, Jihoafrická republika	Zásobník	38	18
21 srpna 1968	Leven, Francie	Cisterna	19	6

Tabulka č. 4. Údaje spojené s únikem propanu.

Datum havárie	Místo havárie	Skladiště propanu	Hmotnost oblaku, tun	Počet mrtvých
20 října 1944	Cliveland, Ohio, USA	Zásobník	2900	128
4 ledna 1966	Feyzin, Francie	Zásobník	450	17
9 března 1972	Linchberg, Virginiya, USA	Cisterna	10	2
5 července 1973	Kingmen, Virginiya, USA	Železniční cisterna	24	13

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

5. Vlastnosti chemických látek

5.1. Čpavek

Čpavek má chemický vzorec NH_3 , teplota tání je $-77,73^\circ\text{C}$, bod varu $-33,34^\circ\text{C}$. Čpavek je toxická, bezbarvá kapalina, za normálního atmosférického tlaku (101325 Pa) a teploty (0°C) je v plynném stavu. Čpavek v plynném stavu tvoří se vzduchem výbušné směsi; vztahuje k pomalu hořící látkám. Snadno rozpustný ve vodě. Amoniak je zařazen podle klasifikace nebezpečnosti R větami jako R 10 – hořlavý, R 23 – toxický při vdechování, R 34 – způsobuje poleptání, R 50 – toxický pro vodní organismy. Podle nebezpečnosti pro životní prostředí S větami jako S 9 – uchovávejte obal na dobře větraném místě, S 16 – uchovávejte mimo dosah zdrojů zapálení – zákaz kouření, S 26 – při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc.

Účinek čpavku:

Čpavek způsobuje udušení a také toxický plicní edém a vážné poškození nervového systému. Páry čpavku velmi dráždí sliznice očí a dýchací cesty. V případě kontaktu kapalného čpavku a kůže vzniká pálení, a také je možnost chemického popálení.

Skladování:

Čpavek se nejčastěji skladuje v kulových zásobnících pod tlakem.

Použití:

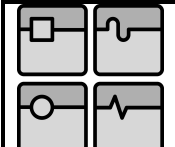
Čpavek – jeden z nejdůležitějších produktů chemického průmyslu. Většina čpavku vyprodukovaného v průmyslu jde na přípravu dusičné kyseliny, dusíkatých hnojiv, barviv. Čpavek také se používá při výrobě výbušnin.

5.2. Chlór

Žluto-zelený plyn, má chemický vzorec Cl_2 , teplota tání je $-101,03^\circ\text{C}$, bod varu je $-34,1^\circ\text{C}$. Snadno rozpustný ve vodě. Nehořlavý, ale podporuje spalování mnoha organických látek. Ve směsi s vodíkem je výbušný. Při ohřevu zásobníku se chlórem může dojít k výbuchu. Plynný chlór je snadno zkapalnit. Při tlaku 0,8 MPa, chlór bude mít kapaliny stav při teplotě 20°C . Při ochlazení do teploty -34°C chlór také se stává kapalným při normálním atmosférickém tlaku. R-věty jako R23 - toxický při vdechování, R36/37/38 - dráždí oči, dýchací orgány a kůži, R50 - vysoce toxický pro vodní organismy. S-věty jako S9 - uchovávejte obal na dobře větraném místě. S45 - v případě nehody, nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc. S61 - zabraňte uvolnění do životního prostředí, viz speciální pokyny nebo bezpečnostní listy.

Účinek:

Chlór – toxický dusný plyn, pokud se dostane do plic, způsobuje popálení plíce, udušení. Příznaky otrávení: pálení, zarudnutí a edém víček, úst a dýchacích cest, kašel, dušnost.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Skladování:

Vyráběný chlór se skladuje ve speciálních zásobnících nebo v ocelových zásobnících při vysokém tlaku.

Použití:

Chlór se používá v mnoha odvětvích průmyslu, vědy a sociálních potřeb. Používá se při výrobě PVC, syntetické pryže, z nichž jsou vyrobeny: izolace pro kabely, obalové materiály, oděvy a obuv, linoleum, laky, hračky, stavební materiály a tak dal. V potravinářském průmyslu je registrován jako potravinářská přídatná látka E925. Chlór se používá při výrobě chlorovodíkové kyseliny, vápenatého chloranu, chloridů kovy, jedů, léků a hnojiv. V ocelářském průmyslu pro výrobu čistých kovů: titan, cín, tantal a niob.

5.3. Propan

Propan má chemický vzorec C_3H_8 , bezbarvý hořlavý plyn bez zápachu, teplota tání je $-187,7^\circ C$, bod varu je $-42,1^\circ C$. Propan je plyn, který je produkován z ropných látek a zemního plynu. Tvoří výbušné směsi se vzduchem. Teplota samovznícení propanu ve vzduchu při tlaku 0.1 MPa je $466^\circ C$. Při tlaku 16 atmosfér a více propan je v kapalném stavu. Propan je těžší než vzduch. Rozpustnost ve vodě při $20^\circ C$ je 0,01% hm.

Skladování:

Při skladování nemusí být vlivu zdrojů tepla a přímé sluneční záření na zásobník. Propan se skladuje v kapalném stavu pod tlakem v kulových zásobnících.

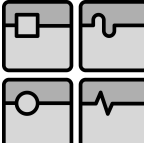
Použití:

Nejvýznamnější použití propanu je jako palivo. Propan je mnohem šetrnější k životnímu prostředí než benzin, a co je nejdůležitější – mnohem levnější. Jeho použití je velmi široké – od řezání a svařování kovů po vytápění. V průmyslu se propan používá jako chladivo, jeho směs s isobutanem se používá v moderních chladicích zařízeních a klimatizaci. V chemickém průmyslu se na základě propanu vyrábí polypropylen a různá rozpouštědla. Propan se používá i v potravinářském průmyslu jako potravinářská přídatná látka – E 944.

5.4. Pentan

Pentan C_5H_{12} – kapalná bezbarvá látka, bez zápachu. Rozpustný v organických rozpouštědlech, ve vodě není rozpustný. Bod varu $36^\circ C$, bod tání $-129^\circ C$, teplota vnícení $-40^\circ C$ až $-20^\circ C$, teplota samovznícení $280^\circ C$. Pentan je hořlavý, při smíchání se vzduchem exploduje. Pentan je těžší než vzduch.

Podle nařízení pentan je vysoce hořlavá látka, nebezpečná pro zdraví, když se dostane do dýchacích cest, může způsobit smrt. Pentan je nebezpečný pro životní prostředí. Pentan se skladuje ve válcových vertikálních zásobnících.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Použití:

Hlavní použití pentanu jsou: jako nadouvadla - se používá pro výrobu pěnového polystyrenu a polyuretanové pěny a jako rozpouštědlo při výrobě polymerů. Pentan je obsažen také v automobilových palivech.

5.5. Ethanol

Ethanol má chemický vzorec C_2H_5OH . Ethanol je bezbarvá kapalina s charakteristickou vůní. Teplota tání je $-114,15^{\circ}C$, bod varu je $78,15^{\circ}C$. Ethanol klasifikován jako hořlavá látka. Rozpuštěn v benzolu, vodě, glycerolu, acetonu, metanolu.

Použití:

Etanol může být používán jako palivo pro raketových a pístových motorů. Slouží jako surovina pro mnoho chemických látek. Používán jako rozpouštědlo. Etanol je součástí nemrznoucí směsi. Široce používán v medicíně, parfumerii a v potravinářském průmyslu.

Praktická část

V praktické části diplomové práce byly zhodnoceny typové havárie (dle kapitoly 4).

6. Typové havárie

Z typových havárií identifikovaných v předchozích kapitolách jsme na základě analýzy nehod vybrali typická zařízení pro analýzu rizik.

Tabulka č. 5. Typová zařízení pro následnou analýzu rizik

Látka	Množství, zásobník je naplněn na 95%	Druh zásobníku	Atmosférické podmínky	Místo
Chlor	150 tun kapalného chloru	Valcový horizontální s jímkou	Teplota vzduchu je 20° C, vítr 3 m/s, jasně	V průmyslovém podniku na okraji města
Čpavek	134 tun kapalného čpavku	Kulový s jímkou	Teplota vzduchu je 20° C, vítr 3 m/s, jasně	V průmyslovém podniku ve městě
Propan	220 tun kapalného propanu (zkapalněno tlakem)	Kulový	Teplota vzduchu je 20° C, vítr 3 m/s, jasně	V průmyslovém podniku urostřed města
Pentan	1382 tun kapalného pentanu	Válcový vertikální	Teplota vzduchu je 20° C, vítr 3 m/s, jasně	V průmyslovém podniku není ve městě
Ethanol	828 tun kapalného ethanolu	Válcový vertikální	Teplota vzduchu je 20° C, vítr 3 m/s, jasně	V průmyslovém podniku ve městě

6.1. Chlór – toxická látka

Vlastnosti chloru

	teplota varu	-34° C
	teplota tání	-101°C
	Molekulová hmotnost	70.91 g/mol

Atmosférické podmínky

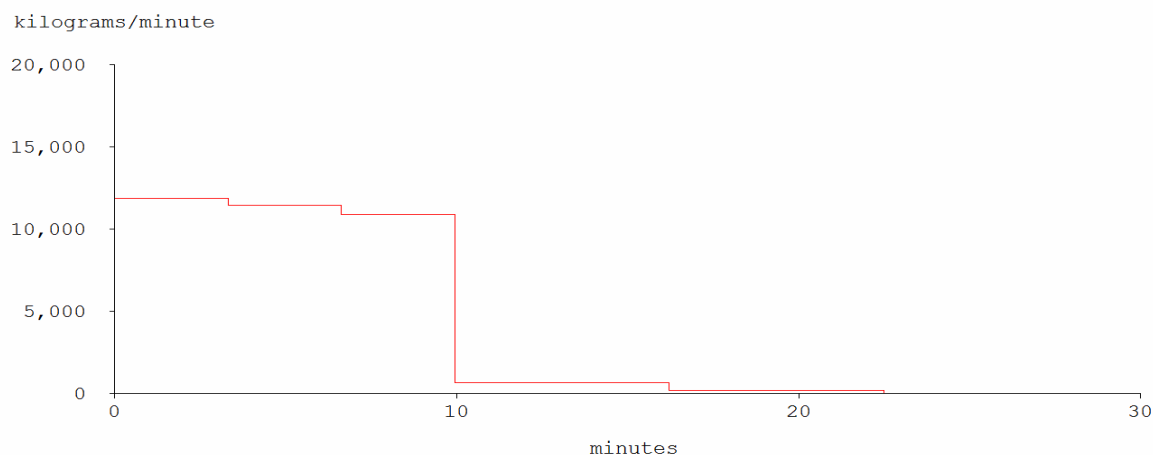
	Rychlost a směr větru	3 m/s, jižní
	Oblačnost	Jasně
	Typ povrchu	Otevřená plocha
	Teplota vzduchu	20 °C
	Třída stability	B
	Vlhkost	75%

Charakteristiky zásobníku

	Typ zásobníku	Valcový horizontální
	Objem	100 m ³
	Delká	8 m
	Průměr	3,99 m
Množství chloru v zásobníku		150 tun
Průměr otvoru		10 cm
Hladina otvoru		1 m

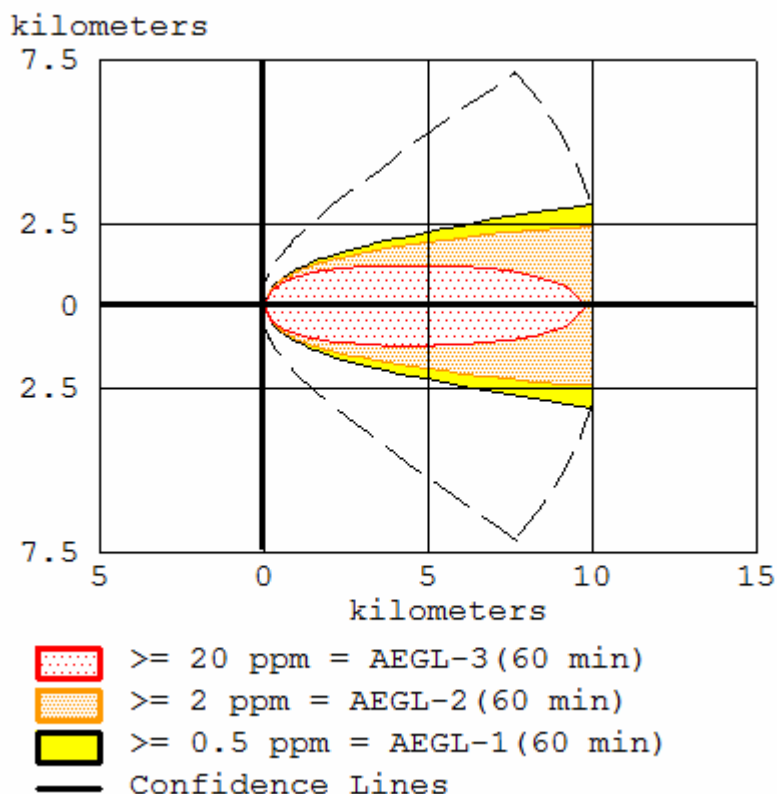
Scénář č. 1.1.

Únik chlóru z valcového horizontálního zásobníku.



Obr.č.17: Rychlost úniku chlóru v závislosti na čase

Na obrázku číslo 17 je vidět, že maximální rychlost úniku je 11 800 kg/min a celková doba úniku je 23 minut. Celkové množství uniklého chlóru je 119 053 kg, což je 79 % celkového množství chlóru v zásobníku. Chlór uniká přes otvor o průměru 10 centimetrů, ve výšce 1 metr. Na základě obrázku určuje se, že za 10 minut uroveň chlóru v zásobníku dosáhne 1 metru, a pak bude únik ve formě plynu. Proto na obrázku je výrazný pokles rychlosti úniku chlóru.



Obr.č.18: Zóna toxického ohrožení

Na obrázku číslo 18 je vidět, že červená zóna - AEGL-3 je 9,8 kilometrů, oranžová – AEGL-2 a žlutá – AEGL-1 jsou větší než 10 kilometrů.

AEGL-1 - koncentrace chlóru v atmosféře, po jeho expozici může dojít u organismu ke značné nevolnosti, či jiným nepříznivým projevům. Množství chlóru v okolí, které je menší než hodnota AEGL-1, reprezentuje hladinu expozice, která může být detekována slabou vůní, chutí, nebo jinými citlivými senzory.

AEGL-2 - koncentrace chlóru v atmosféře, která způsobí nevratné nebo jiné závažné, dlouhodobé efekty.

AEGL-3 - koncentrace chlóru v atmosféře, která má za následek nevratné změny důležitých životních funkcí, může vést až k smrti organismu.

Nejvýznamnější rozsah působení při úniku chlóru je zona toxického ohrožení.

6.2. Čpavek – toxická látka

Vlastnosti čpavku

	teplota varu	-33,35 °C
	teplota tání	-77,7 °C
	Molekulová hmotnost	17.03 g/mol

Atmosférické podmínky

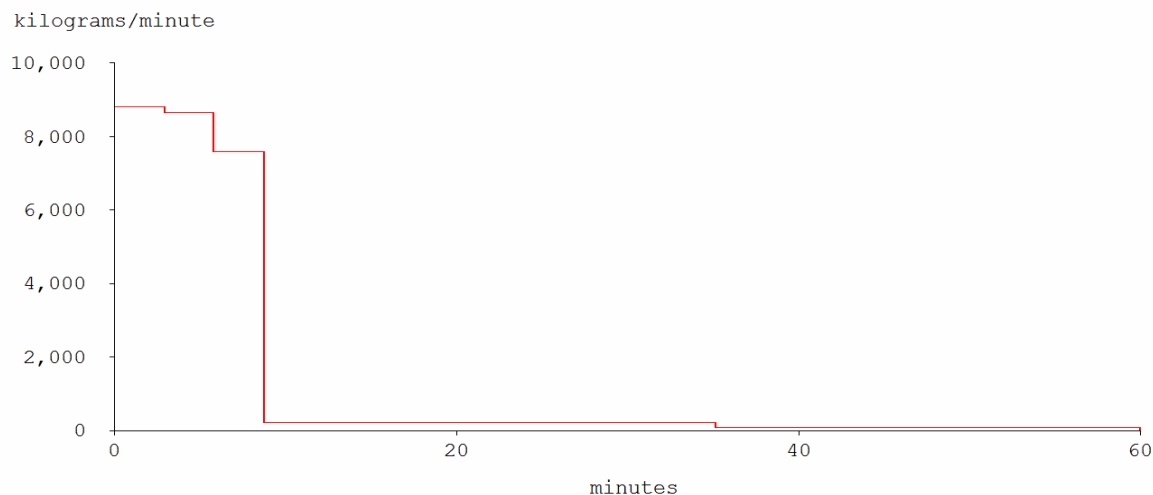
	Rychlost a směr větru	3 m/s, jižní
	Oblačnost	Jasně
	Typ povrchu	Otevřená plocha
	Teplota vzduchu	20 °C
	Třída stability	B
	Vlhkost	75%

Charakteristiky zásobníku

	Typ zásobníku	Kulový
	Objem	200 m ³
	Průměr	7,26 m
Množství čpavku v zásobníku		134 tun
Průměr otvoru		10 cm
Hladina otvoru		3,34 m

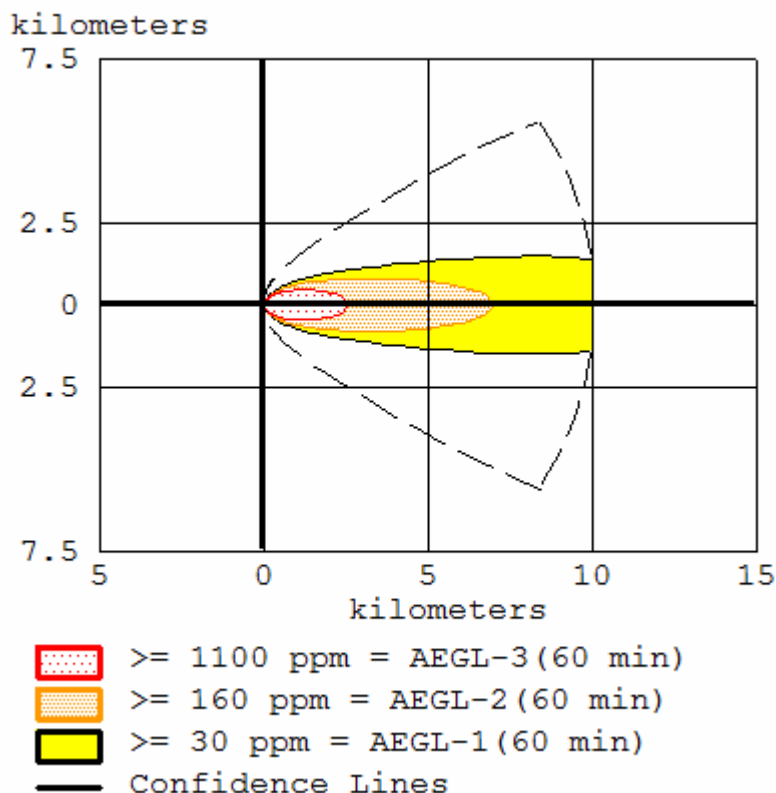
Scénář č. 2.1.

Čpavek nehoří a uniká z kulového zásobníku.



Obr. č.19: Rychlost úniku čpavku v závislosti na čase

Maximální rychlost úniku je 8 770 kg/min, celková doba úniku je omezená během 1 hodiny. Množství uniklého čpavku je 80 916 kg, což je 60 % od celkového množství čpavku v zásobníku. Na začátku úniku čpavku zásobník obsahuje 134 tun, to znamená že zásobník je naplněn na 95 %. Jakmile poklesne hladina kapalné fáze na úroveň výšky otvoru, dojde k prudkému poklesu rychlosti úniku čpavku. Dál čpavek ze zásobníku bude unikat pouze ve formě plynu.



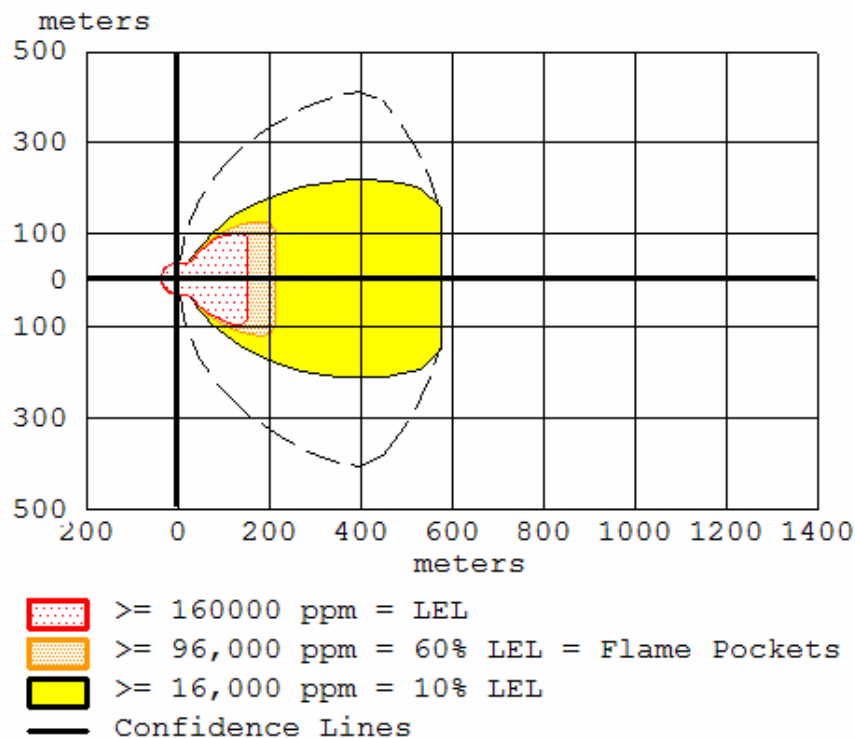
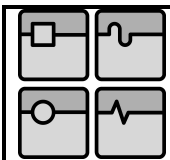
Obr. č.20: Zóna toxického ohrožení

Červená zóna - AEGL-3 je 2,6 kilometrů, oranžová – AEGL-2 je 6 kilometrů, žlutá – AEGL-1 je větší než 10 kilometrů.

AEGL-1 - koncentrace čpavku v atmosféře, po jeho expozici může dojít u organismu ke značné nevolnosti, či jiným nepříznivým projevům. Množství čpavku v okolí, které je menší než hodnota AEGL-1, reprezentuje hladinu expozice, která může být detekována slabou vůní, chutí, nebo jinými citlivými senzory.

AEGL-2 - koncentrace čpavku v atmosféře, která způsobí nevratné nebo jiné závažné, dlouhodobé efekty.

AEGL-3 - koncentrace čpavku v atmosféře, která má za následek nevratné změny důležitých životních funkcí, může vést až k smrti organismu.



Obr. č.21: Hořlavá oblast

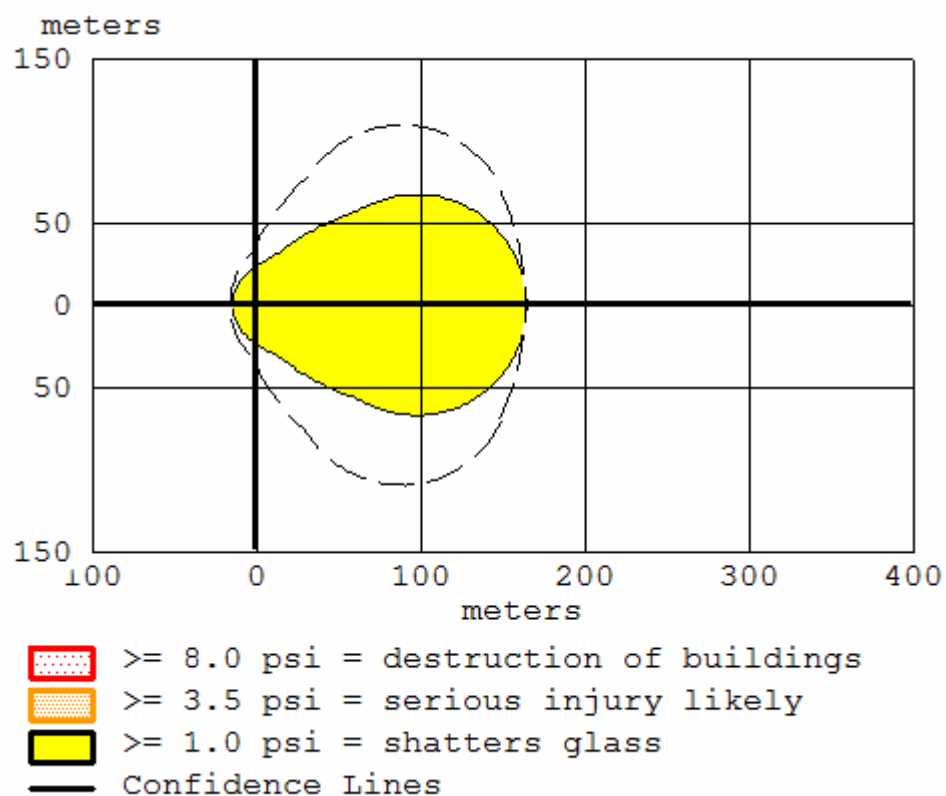
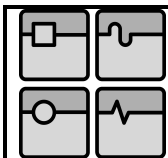
Červená zóna (LEL) je 158 metrů, oranžová zóna (60 % LEL) je 215 metrů, žlutá zóna (10 % LEL) je 578 metrů.

Spodní mez výbušnosti - SMV (anglicky označovaná LEL – Lower Explosive Limit) je hodnota koncentrace plynu ve vzduchu, kdy tato směs začíná hořet. Pro čpavek 100 % LEL se rovná 15 % při teplotě 20 °C a při atmosférickém tlaku.

100 % LEL znamená že na vzdalenosti 158 metrů 15 % z celkového objemu vzduchu se skládá ze čpavku.

60 % LEL znamená že na vzdalenosti 215 metrů 9 % z celkového objemu vzduchu se skládá ze čpavku.

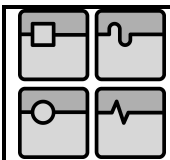
10 % LEL znamená že na vzdalenosti 578 metrů 1,5 % z celkového objemu vzduchu se skládá ze čpavku.



Obr. č.22: Výbušná oblast

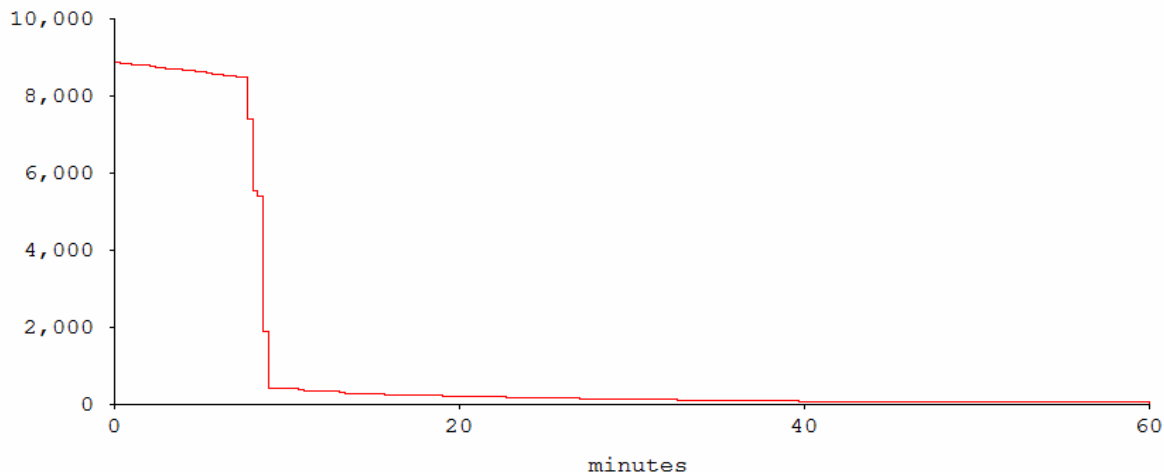
Červená zóna ukazuje zničení budov, ale nebyla nikdy překročena. Oranžová zóna ukazuje vážné zranění, také nikdy nebyla překročena. Žlutá zóna ukazuje rozbití skla v rozsahu 165 metrů.

V dánem případě zdrojem zapálení jsou jiskra nebo plamen.

**Scénář č. 2.2.**

Čpavek hoří když uniká ze zásobníku.

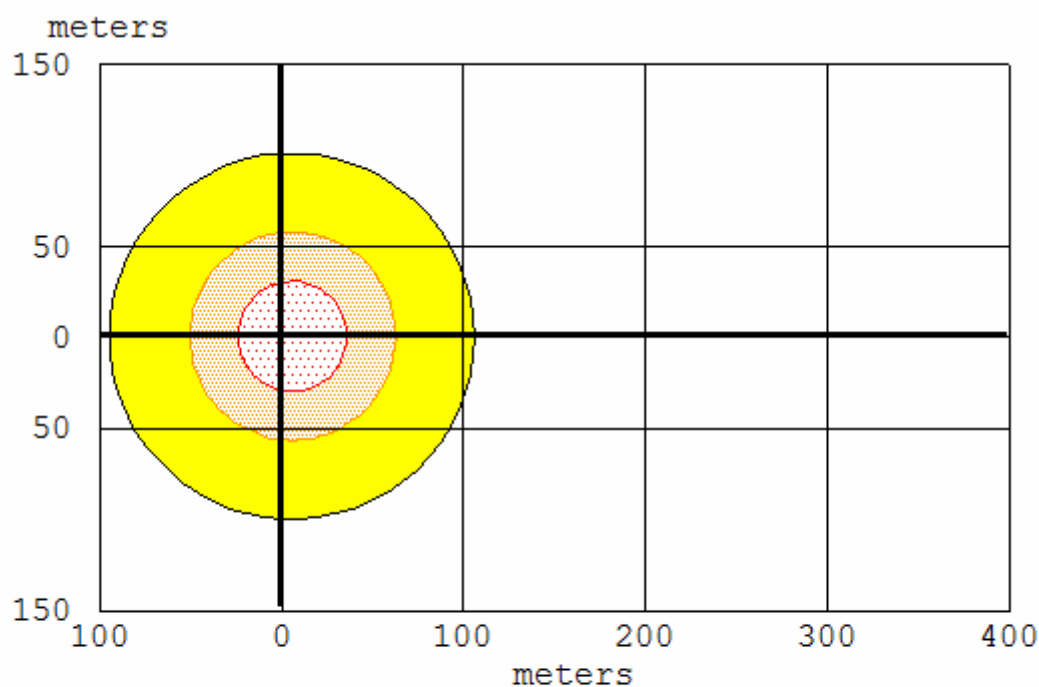
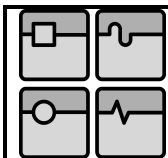
kilograms/minute






Obr.č.23: Rychlost hoření čpavku v závislosti na čase

Maximální délka plamene je 52 metrů. Program omezuje dobu hoření do 1 hodiny. Maximální rychlost hoření je 8 850 kg/min. Celkové množství spáleného čpavku je 80 946 kilogramů. V tomto případě čpavek hoří jako «jet fire». Na začátku nehody zásobník obsahoval 134 tun, to znamená, že byl naplněn na 95 %. Průměr otvoru přes který uniká a hoří čpavek je 10 centimetrů, hladina otvoru je 3,34 metrů. Obrázek číslo 23 ukazuje, že na začátku je pomalý pokles rychlosti hoření čpavku, toto podmíněno tím, že snižují tlak v zásobníku, protože se snižují uroveň čpavku v zásobníku. Výrazný pokles rychlosti hoření čpavku nastane, kdy uroveň čpavku v zásobníku dosáhne 3,34 metrů.

Je nutné podotknout, že volné hoření čpavku je velmi nepravděpodobné, díky vysoké iniciační energii.



-  $\geq 10.0 \text{ kW/(sq m)}$ = potentially lethal within 60 sec
-  $\geq 5.0 \text{ kW/(sq m)}$ = 2nd degree burns within 60 sec
-  $\geq 2.0 \text{ kW/(sq m)}$ = pain within 60 sec

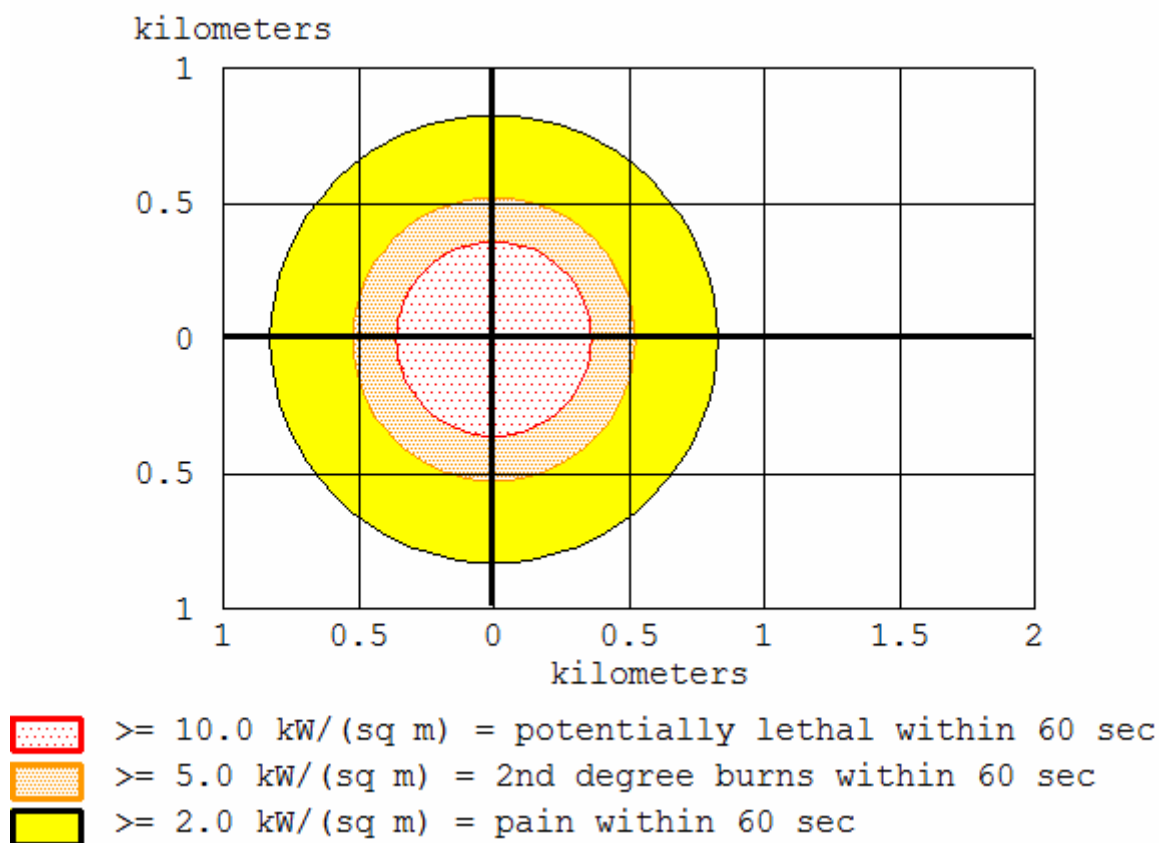
Obr. č.24: Zóna tepelného záření

Červená zóna je 36 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund. Oranžová zóna je 63 metrů, způsobuje popáleniny druhého stupně. Žlutá zóna je 106 metrů, způsobuje bolest.

Scénář č. 2.3.

BLEVE. Výbuch páry čpavku z kulového zásobníku.

- Hmotností procento od ohnivé koule je 80%,
- Tlak v zásobníku při výbuchu je 11,54 atm.,
- Teplota uvnitř zásobníku při výbuchu je 30,2 °C.



Obr. č.25: Zóna tepelného záření

Průměr ohnivé koule je 267 metrů a její doba hoření je 16 sekund. Průměr «pool fire» je 95 metrů a jeho doba hoření je 4 minuty. Délka plamene je 26 metrů.

Červená zóna je 360 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund. Oranžová zóna je 522 metrů, způsobuje popáleniny druhého stupně. Žlutá zóna je 826 metrů, způsobuje bolest.

Hořlavost amoniaku je oceněna větou R10, tuto informaci je potřeba upřesnit. Amoniak je asociací NFPA klasifikován jako nehořlavý plyn, příručka NFPA 49 uvádí, že se klasickými metodami nepodařilo páry amoniaku zapálit (conventional closed cup test), v uzavřeném prostoru však mohou páry amoniaku explodovat.

Nejvýznamnější rozsah působení při úniku čpavku je zona toxického ohrožení.

6.3. Propan - Extrémně hořlavá látka

Vlastnosti propanu

	Bod varu	-42,8 °C
	Bod vzplatnutí	-69 °C
	Molekulová hmotnost	44.10 g/mol
	Výbušné vlastnosti	horní mez (% obj.): 9,5 dolní mez (% obj.): 2,12

Atmosférické podmínky

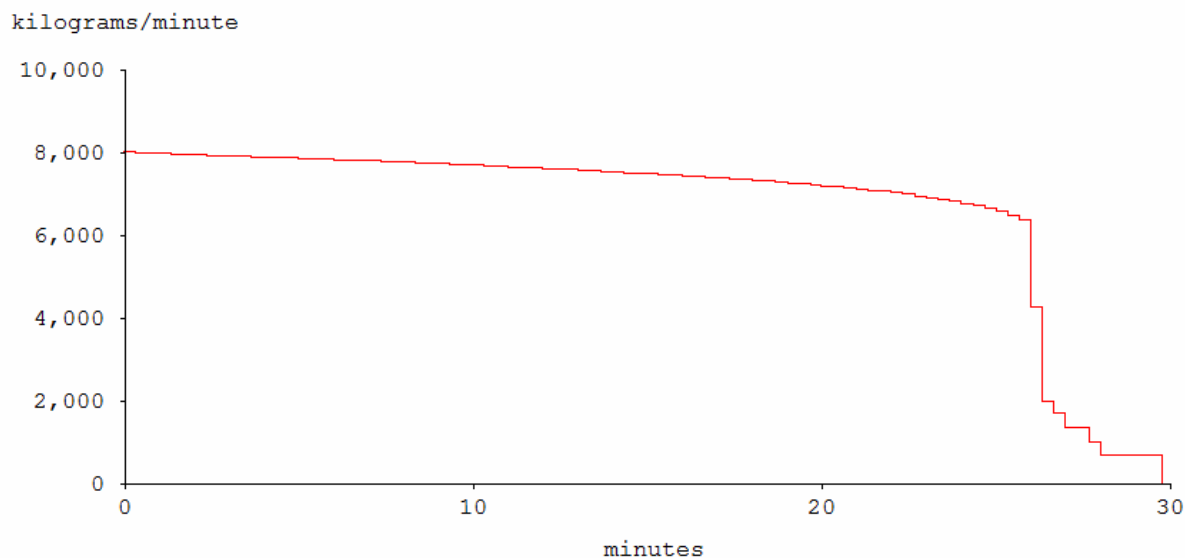
	Rychlost a směr větru	3 m/s, jižní
	Oblačnost	Jasně
	Typ povrchu	Otevřená plocha
	Teplota vzduchu	20 °C
	Třída stability	C
	Vlhkost	75%

Charakteristiky zásobníku

	Typ zásobníku	Kulový
	Objem	400 m ³
	Průměr	9,14 m
Množství propanu v zásobníku		220 tun
Průměr otvoru		10 cm
Hladina otvoru		0,82 m

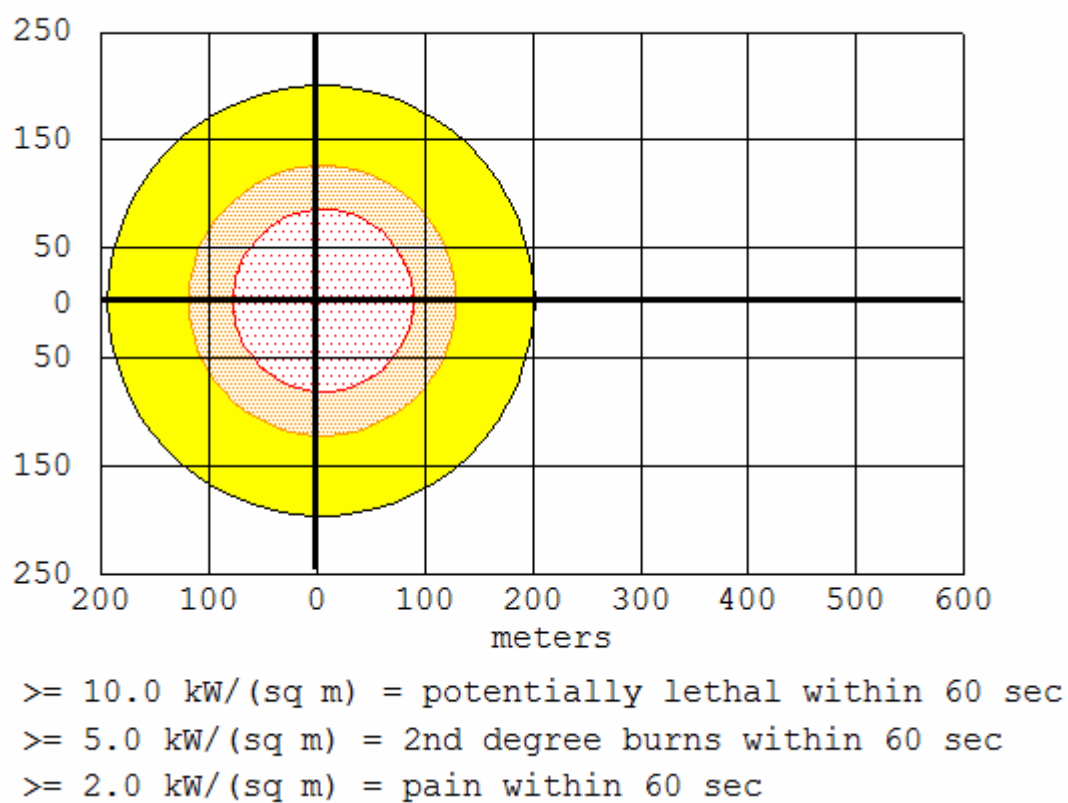
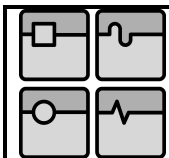
Scénář č. 3.1.

Únik propanu z kulového zásobníku. Propan hoří, když uniká z zásobníku, jako «jet fire».



Obr. č.26: Rychlost hoření propanu v závislosti na čase

Maximální rychlost hoření propanu je 8 020 kg/min během 30 minut. Celkové množství spáleného propanu je 199 581 kg, což je 91 % od celkového množství propanu v zásobníku. Maximální délka plamene je 58 metrů. Propan hoří jako «jet fire», obrázek číslo 26 ukazuje, že rychlost hoření propanu je téměř stejná po době 27 minut. Toto je podmíněno tím, že hladina otvoru, přes který uniká a hoří propan je velmi nízká – 0,82 metrů, a proto se tlak v zásobníku mění pomalu. Výrazný pokles rychlosti hoření propanu je možné vysvětlit tím, že uroveň propanu v zásobníku dosáhne hladiny otvoru.

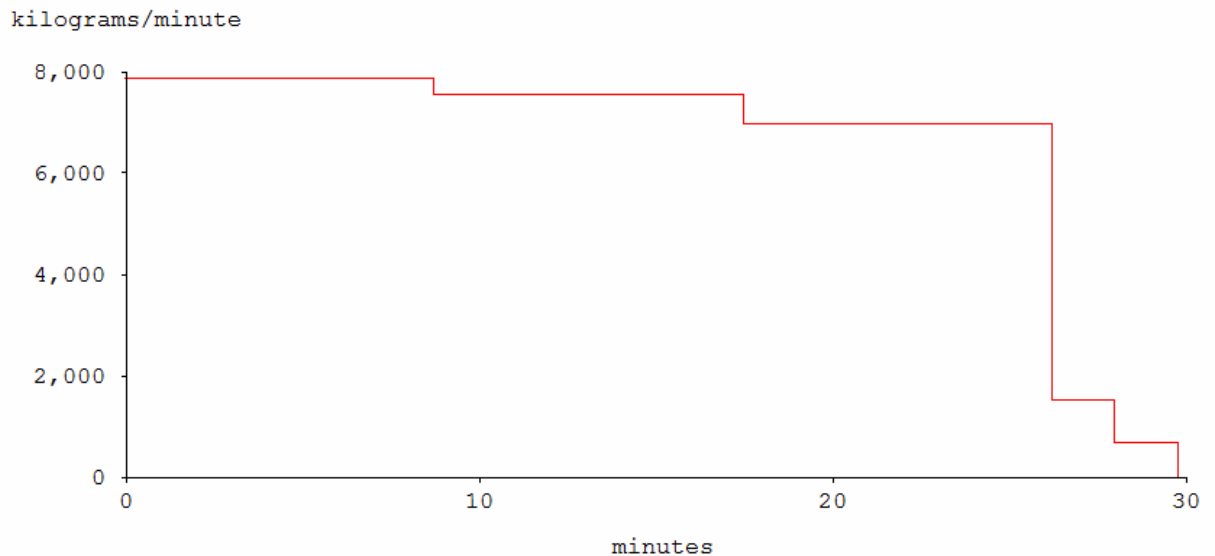


Obr. č.27: Zóna tepelného záření

Červená zóna má poloměr 91 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund. Oranžová zóna je 131 metr, způsobuje popáleniny druhého stupně. Žlutá zóna je 204 metrů, způsobuje bolest.

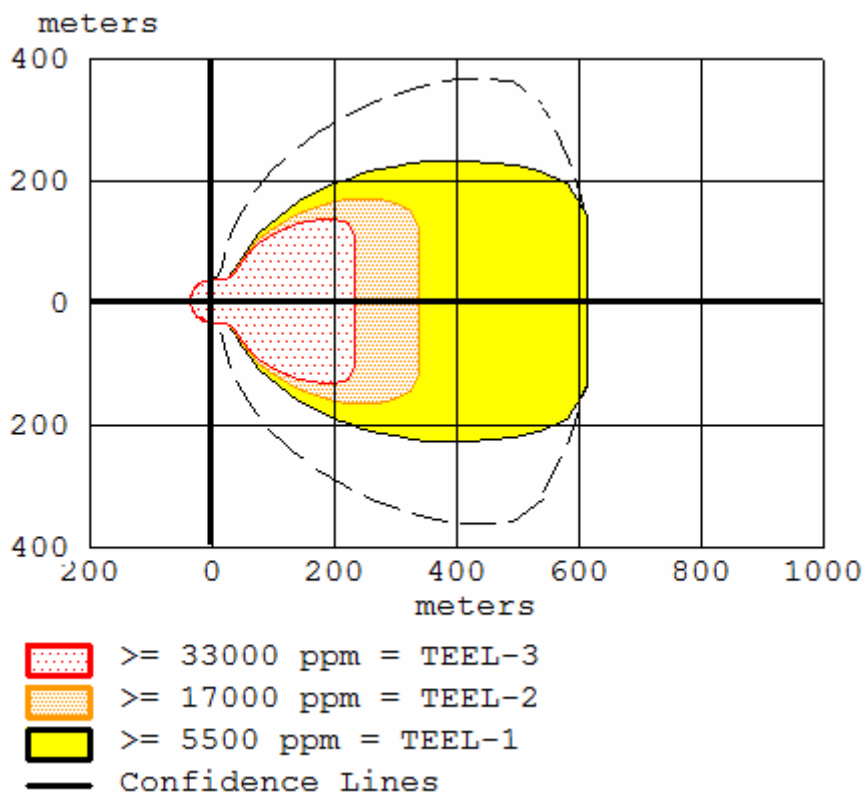
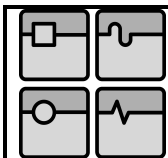
Scénář č. 3.2.

Propan uniká z kulového zásobníku, ale nehoří.



Obr. č.28: Rychlost úniku propanu v závislosti na čase

Maximální rychlost úniku propanu je 7 870 kg/min, doba úniku je 30 minut. Celkové množství uniklého propanu je 199 581. Obrázek číslo 28 ukazuje, že rychlost úniku propanu je téměř stejná po době 26 minut. Toto je podmíněno tím, že hladina otvoru, přes který uniká propan je velmi nízká – 0,82 metrů, a proto se tlak v zásobníku mění pomalu. Kdy je výrazný pokles rychlosti úniku propanu, to znamená, že uroveň propanu v zásobníku dosáhne hladiny otvoru.



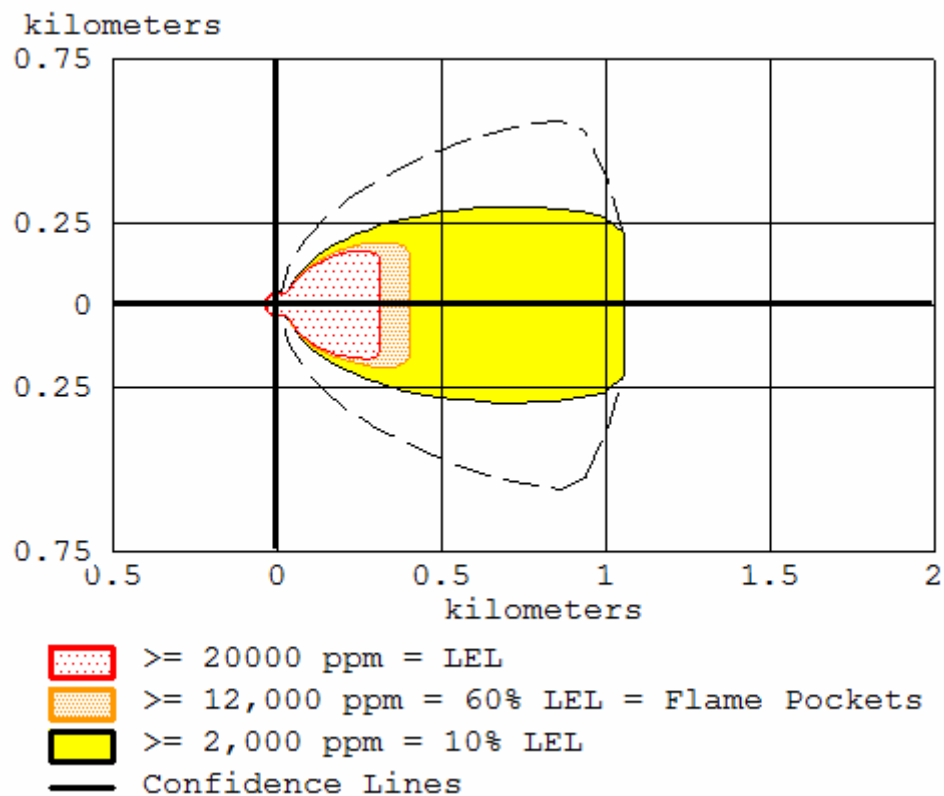
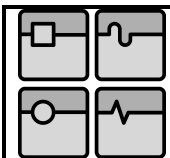
Obr. č.29: Toxická zóna

Červená zóna je 236 metrů, oranžová je 338 metrů, žlutá je 613 metrů.

TEEL-1 – maximální množství propanu v okolí organismu, které způsobí slabé podráždění.

TEEL-2 – práh koncentrace propanu, jehož důsledkem jsou dráždivé, ale vratné změny zdravotního stavu organismu.

TEEL-3 – koncentrace propanu, která má za následek vážné změny organismu.



Obr. č.30: Hořlavá oblast

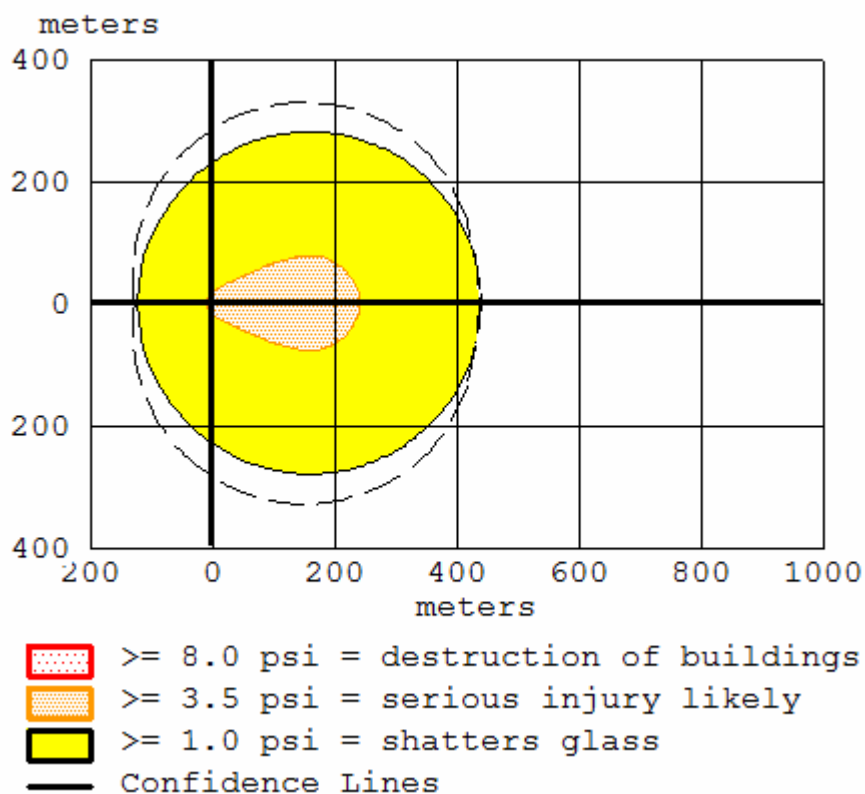
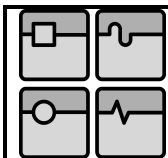
Červená oblast je 310 metrů, oranžová je 406 metrů, žlutá je 1,1 kilometrů.

Pro propan 100 % LEL se rovná 2,1 % při teplotě 20 °C a při atmosférickém tlaku.

100 % LEL znamená, že na vzdalenosti 310 metrů 2,1 % z celkového objemu vzduchu se skládá z propanu.

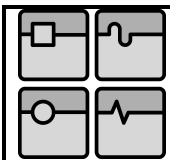
60 % LEL znamená, že na vzdalenosti 406 metrů 1,26 % z celkového objemu vzduchu se skládá z propanu.

10 % LEL znamená, že na vzdalenosti 1,1 kilometrů 0,21 % z celkového objemu vzduchu se skládá z propanu.



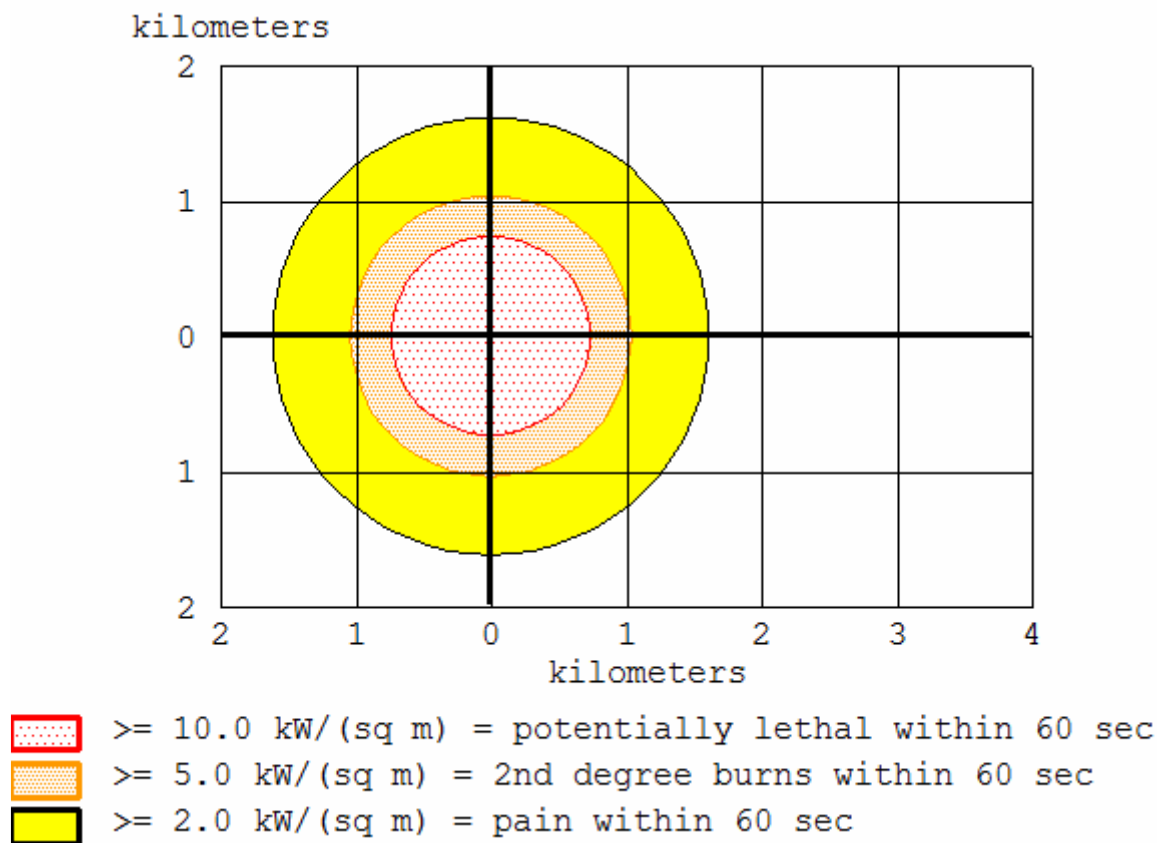
Obr. č.31: Výbušná zóna

Červená zóna nikdy nebyla překročena, oranžová zóna je 243 metrů a ukazuje vážné zranění, žlutá zóna ukazuje rozbití skla v rozsahu 441 metrů.



Scénář č. 3.3.

BLEVE. Výbuch propanu z kulového zásobníku.



Obr. č.32: Zóna tepelného záření

Průměr ohnivé koule je 339 metrů, doba hoření je 19 sekund.

Červená zóna je 734 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund, oranžová zóna je 1 kilometr - způsobuje popáleniny druhého stupně, žlutá zóna je 1,6 kilometrů, způsobuje bolest.

Nejvýznamnější rozsah působení při výbuchu propanu je zona tepelného záření.

6.4. Pentan - Extrémně hořlavá látka

Vlastnosti pentanu

	Bod varu	36,1 °C
	Bod tání	-129,8 °C
	Molekulová hmotnost	72.15 g/mol

Atmosférické podmínky

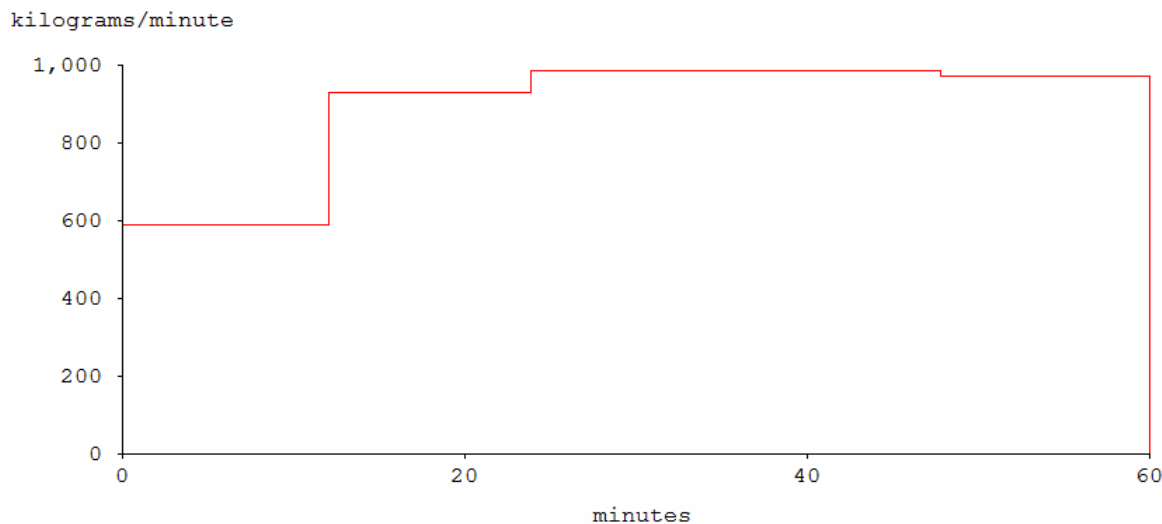
	Rychlost a směr větru	3 m/s, jižní
	Oblačnost	Jasně
	Typ povrchu	Otevřená plocha
	Teplota vzduchu	20 °C
	Třída stability	C
	Vlhkost	75%

Charakteristiky zásobníku

	Typ zásobníku	Valcový vertikální
	Objem	2000 m ³
	Průměr	16 m
	Délka	10 m
Množství pentanu v zásobníku		1382 tun
Průměr otvoru		10 cm
Hladina otvoru		1,3 m

Scénář č. 4.1.

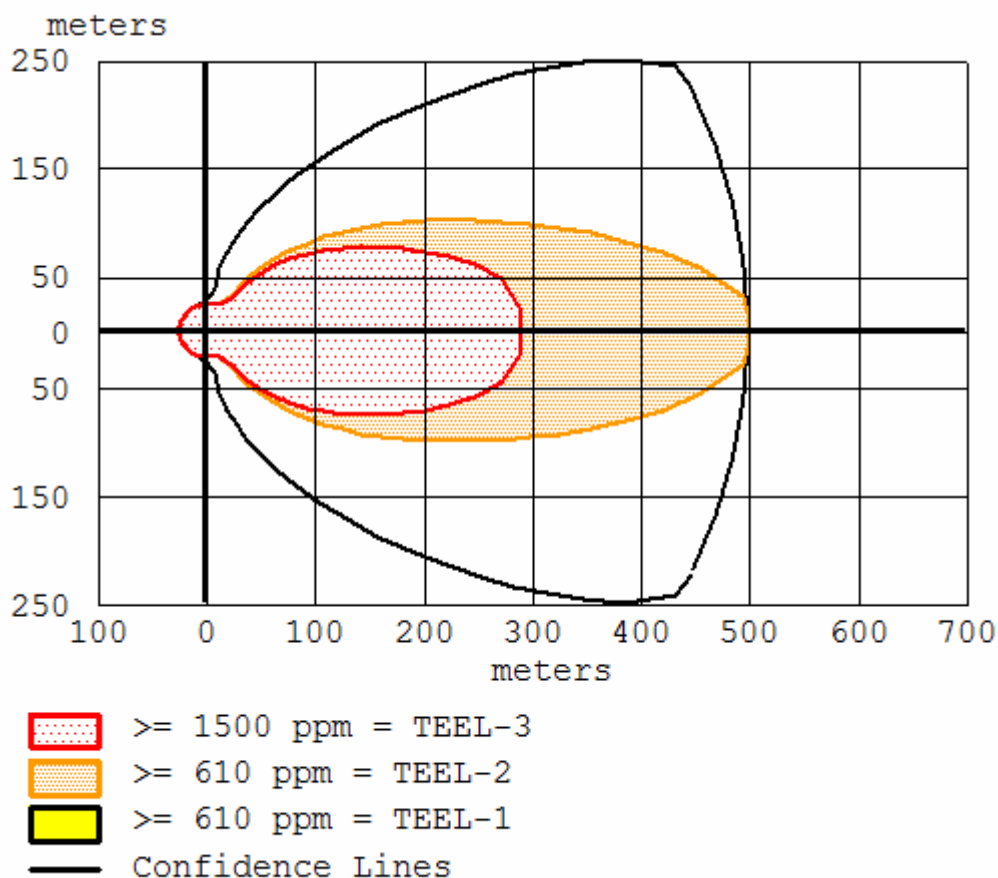
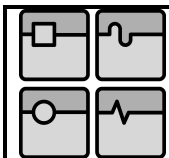
Pentan únika přes otvor z valcového vertikálního zásobníku a nehoří.



Obr. č.33: Rychlost úniku pentanu v závislosti na čase

Program omezuje únik pentanu do 1 hodiny. Maximální rychlost úniku pentanu je 985 kg/min. Celkové množství uniklého pentanu je 53 490 kilogramů. Pentan uniká v kapalném stavu a tvoří odpařovací louže. Průměr louže je 61 metrů.

Na obrázku číslo 33 lze vidět chybu programu při modelování grafu rychlosti úniku pentanu, protože rychlost úniku látky ze zásobníku při těchto podmínkách nikdy nemůže být zvýšena.



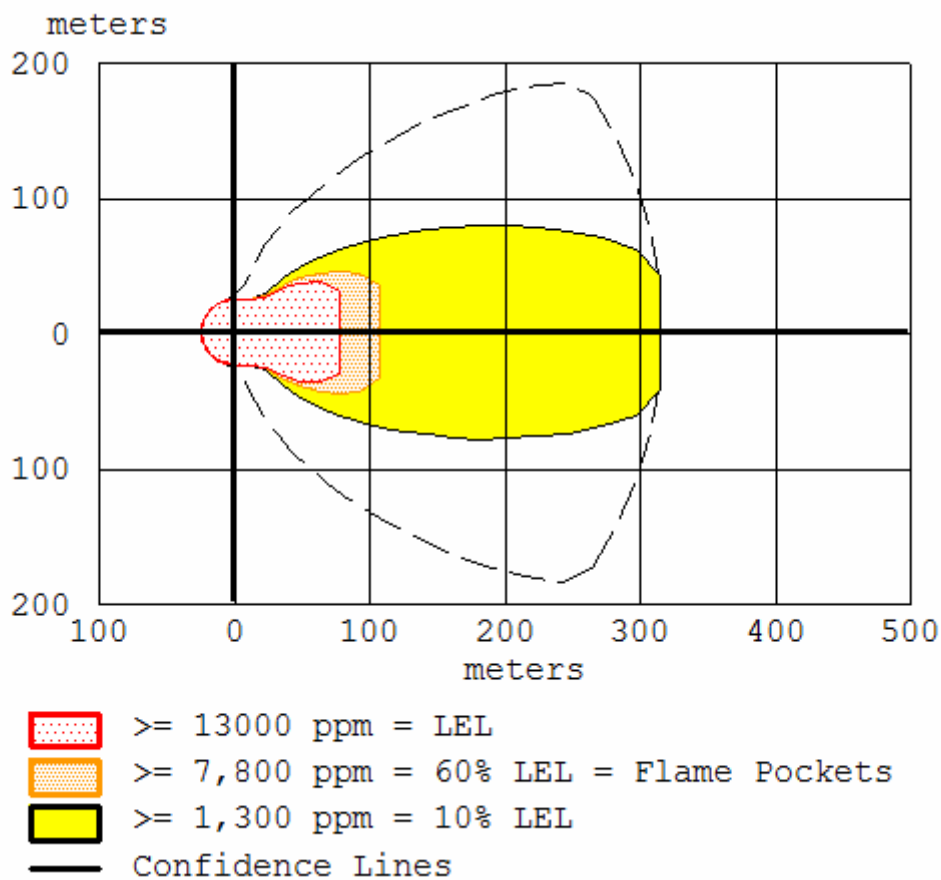
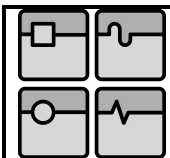
Obr. č.34: Toxická zóna

Červená zóna je 289 metrů, oranžová a žlutá zóny jsou 500 metrů.

TEEL-1 – maximální množství pentanu v okolí organismu, které způsobí slabé podráždění.

TEEL-2 – práh koncentrace pentanu, jehož důsledkem jsou dráždivé, ale vratné změny zdravotního stavu organismu.

TEEL-3 – koncentrace pentanu, která má za následek vážné změny organismu.



Obr. č.35: Hořlavá zóna

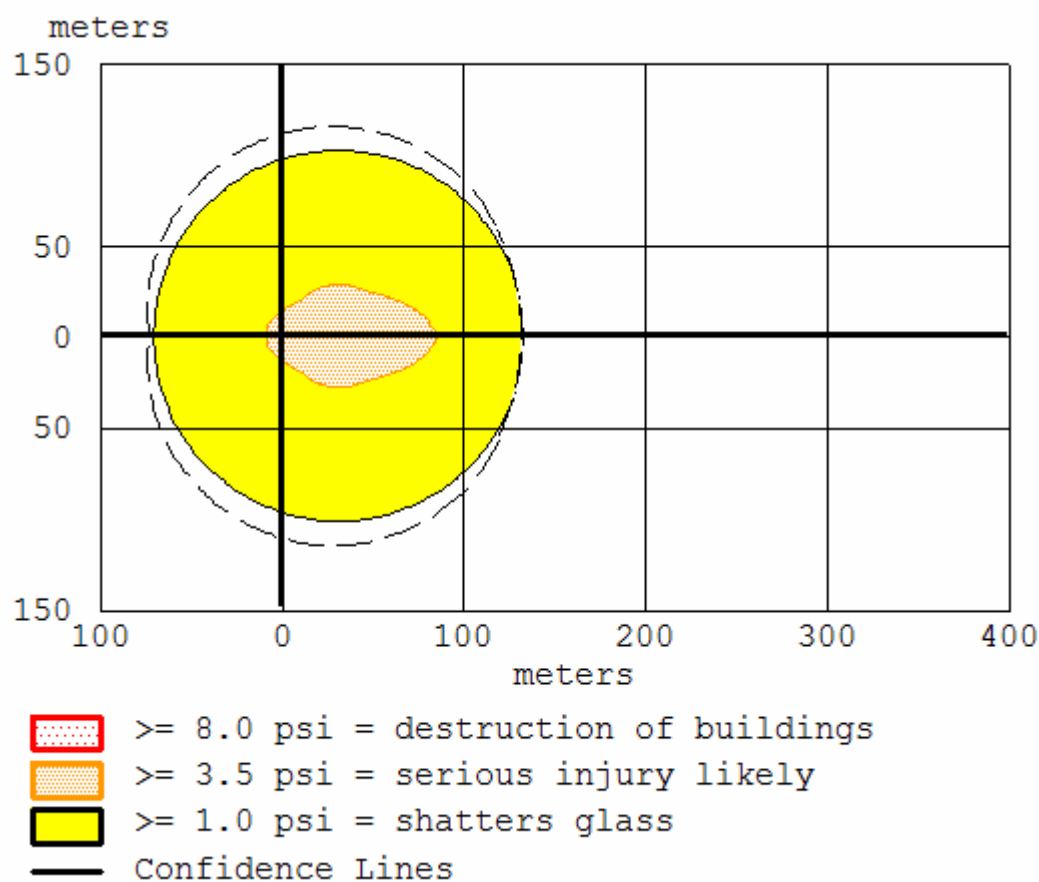
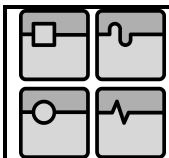
Červená zóna je 79 metrů, oranžová zóna 109 metrů a žlutá zóna je 315 metrů.

Pro pentan 100 % LEL se rovná 1,4 % při teplotě 20 °C a při atmosférickém tlaku.

100 % LEL znamená, že na vzdalenosti 79 metrů 1,4 % z celkového objemu vzduchu se skládá z pentanu.

60 % LEL znamená, že na vzdalenosti 109 metrů 0,84 % z celkového objemu vzduchu se skládá z pentanu.

10 % LEL znamená, že na vzdalenosti 315 metrů 0,14 % z celkového objemu vzduchu se skládá z pentanu.

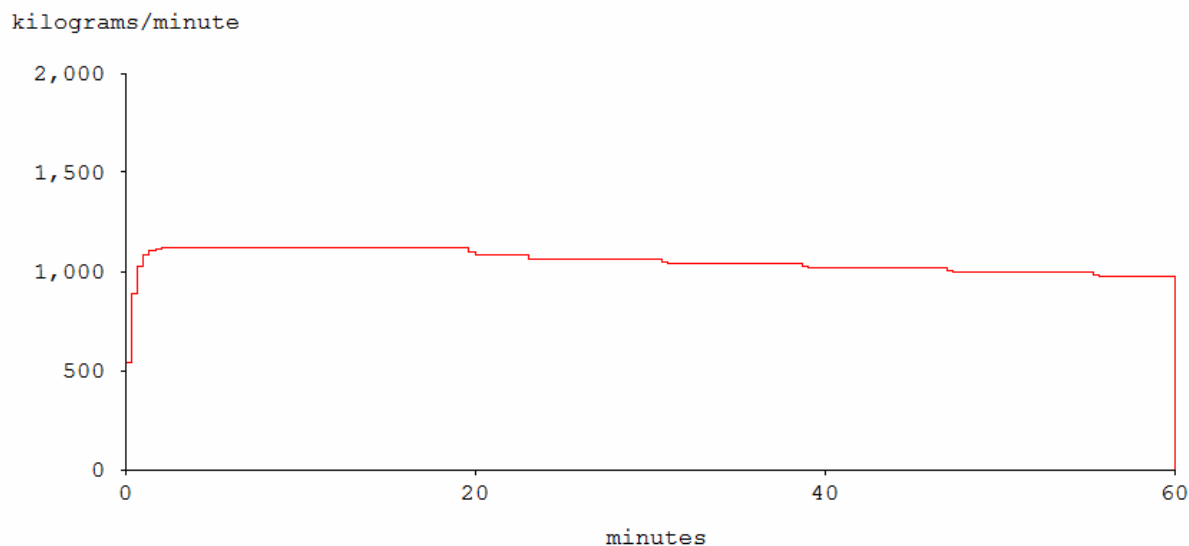


Obr. č.36: Výbušná zóna

Červená zóna nikdy nebyla překročena, oranžová zóna je 85 metrů a ukazuje vážné zranění, žlutá zóna ukazuje rozbití skla v rozsahu 133 metrů.

Scénář č. 4.2.

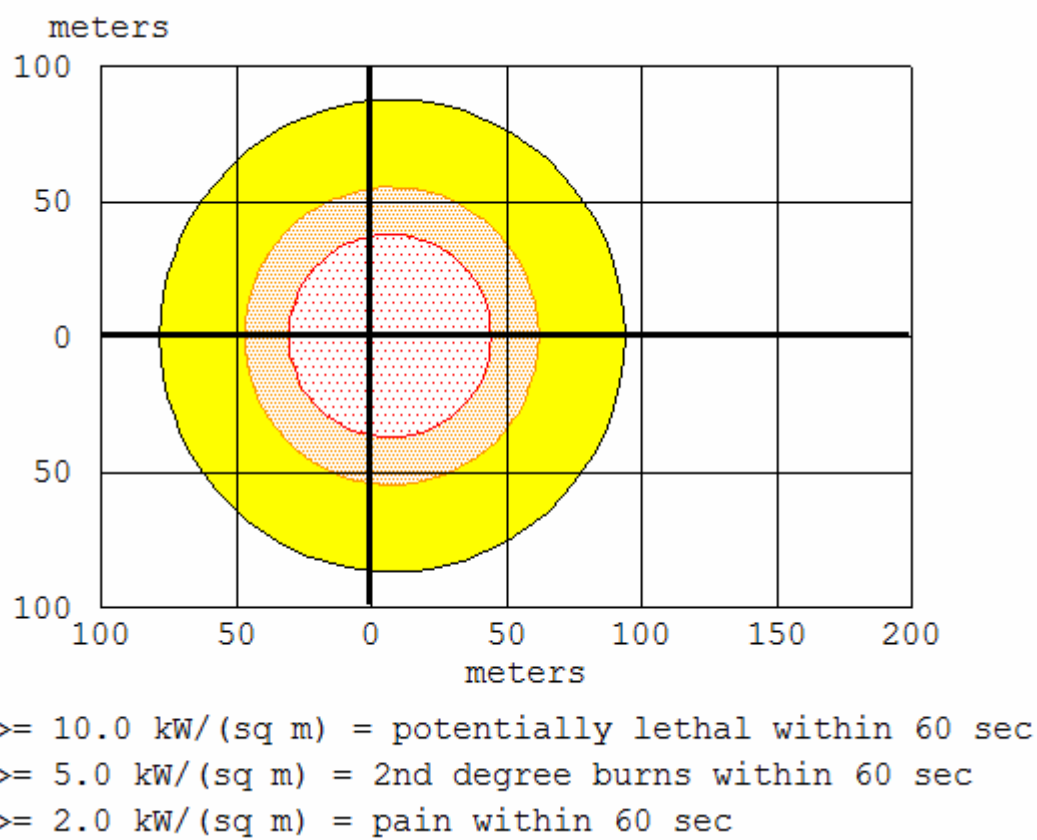
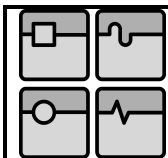
Pentan únika přes otvor z valcového vertikálního zásobníku a hoří jako «poolfire».



Obr. č.37: Rychlost hoření pentanu v závislosti na čase

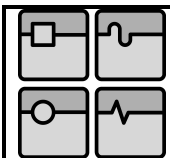
Program omezuje únik pentanu do 1 hodiny. Maximální délka plamene je 31 metr. Maximální rychlost hoření pentanu je 1 120 kg/min. Celkové množství spáleného pentanu je 62 967 kilogramů. Průměr louže je 14,4 metrů.

Na obrázku číslo 37 lze vidět chybu programu při modelování grafu rychlosti hoření pentanu, protože rychlost hoření látky ze zásobníku při těchto podmínkách nikdy nemůže být zvýšena.



Obr. č.38: Zóna tepelného záření

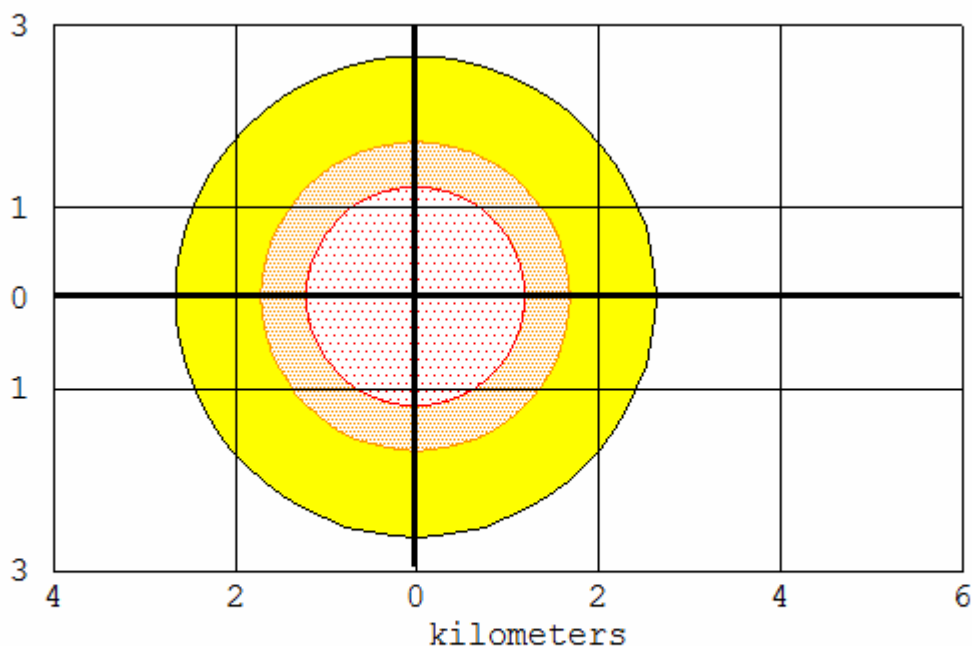
Červená zóna je 45 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund, oranžová zóna je 63 metrů - způsobuje popáleniny druhého stupně, žlutá zóna je 95 metrů - způsobuje bolest.




**Scénář č. 4.3.**

BLEVE. Zásobník s pentaném exploduje a hoří jako ohnivá koule.

- Hmotnostní procento od ohnivé koule je 80 %,
- Tlak v zásobníku při výbuchu je 2,75 atm.,
- Teplota uvnitř zásobníku je 69,4 °C.

kilometers



-  $\geq 10.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ = potentially lethal within 60 sec
-  $\geq 5.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ = 2nd degree burns within 60 sec
-  $\geq 2.0 \text{ kW}/(\text{sq m})$ = pain within 60 sec

Obr. č.39: Zóna tepelného záření

Průměr ohnivé koule je 581 metrů a její doba hoření je 28 sekund, průměr «poolfire» je 200 metrů a jeho doba hoření je 60 sekund. Délka plamene je 195 metrů.

Červená zóna je 1,2 kilometrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund, oranžová zóna je 1,7 kilometrů - způsobuje popáleniny druhého stupně, žluta zóna je 2,6 kilometrů - způsobuje bolest.

Nejvýznamnější rozsah pusobení při výbuchu pentanu je zóna tepelného záření.

6.5. Ethanol - Vysoce hořlavá a toxická látka

Vlastnosti ethanolu

	Bod varu	78,3 °C
	Bod tání	-114,4 °C
	Bod vzplatnutí	13 °C
	Teplota vnícení	400 °C
	Molekulová hmotnost	46.07g/mol

Atmosférické podmínky

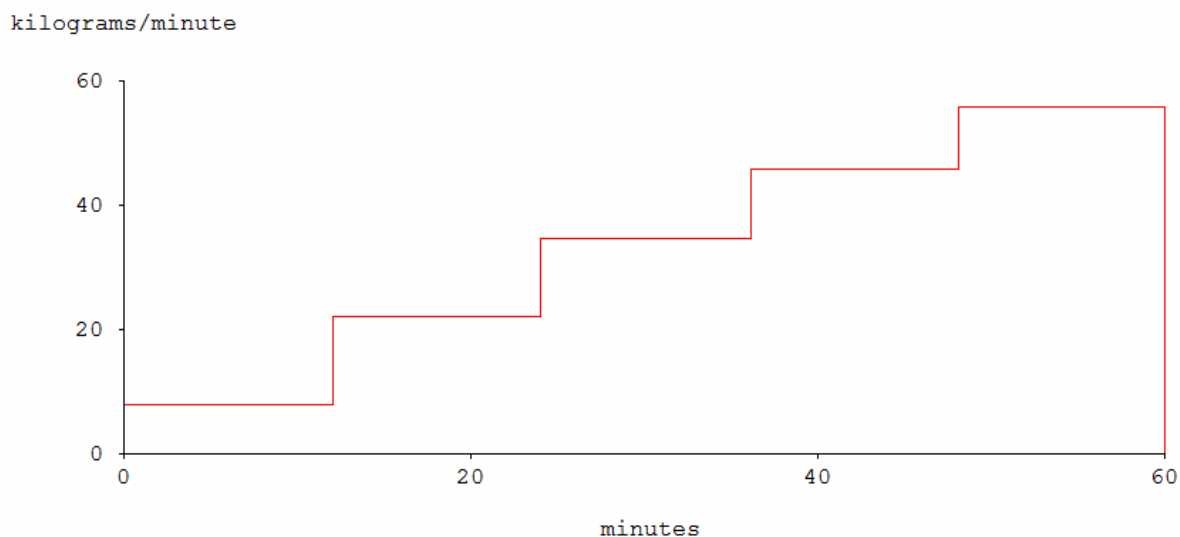
	Rychlost a směr větru	1 m/s, severní
	Oblačnost	Jasně
	Typ povrchu	Otevřená plocha
	Teplota vzduchu	20 °C
	Třída stability	B
	Vlhkost	75%

Charakteristiky zásobníku

	Typ zásobníku	Valcový vertikální
	Objem	1000 m ³
	Průměr	11,3 m
	Délka	10 m
Množství ethanolu v zásobníku		828 tun
Průměr otvoru		10 cm
Hladina otvoru		1,8 m

Scénář č. 5.1.

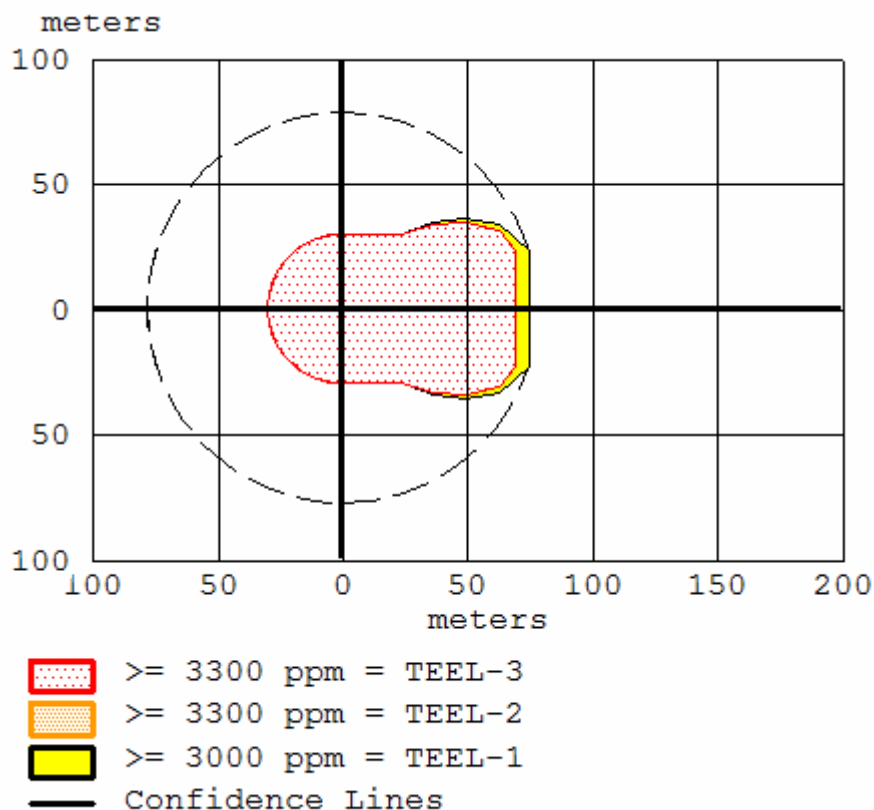
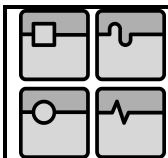
Ethanol uniká přes otvor z valcového vertikálního zásobníku a nehoří.



Obr. č.40: Rychlost úniku ethanolu v závislosti na čase

Program omezuje únik ethanolu do 1 hodiny. Maximální rychlost úniku ethanolu je 55,6 kg/min. Celkové množství uniklého ethanolu je 1 982 kilogramů. Ethanol uniká v kapalném stavu a tvoří louži. Průměr louže je 80 metrů.

Na obrázku číslo 40 lze vidět chybu programu při modelování grafu rychlosti úniku ethanolu, protože rychlost úniku látky ze zásobníku při těchto podmínkách nikdy nemůže být zvýšena.



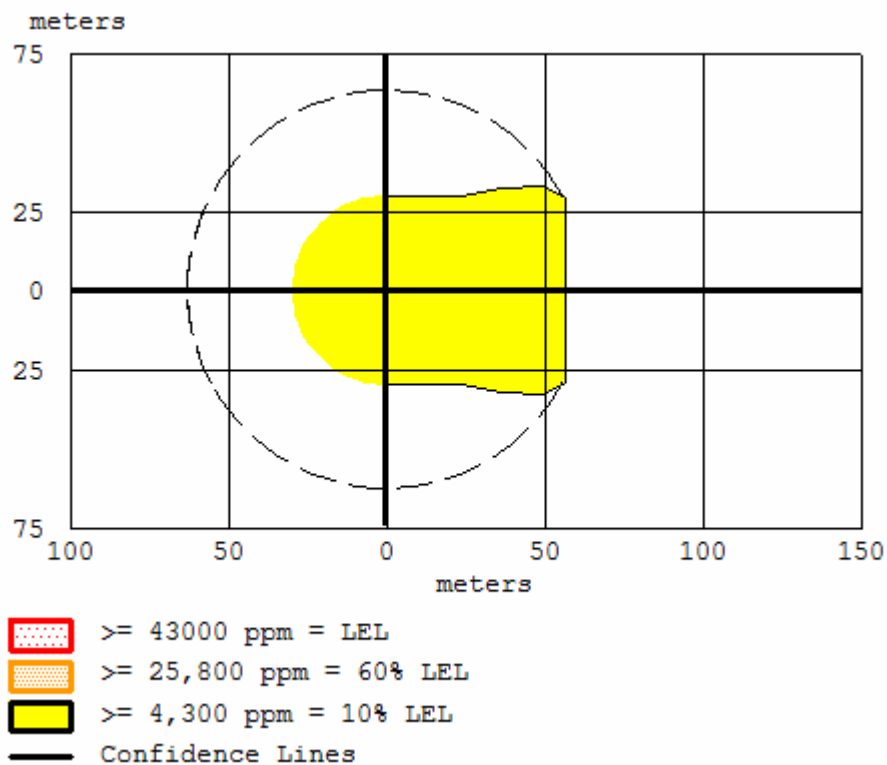
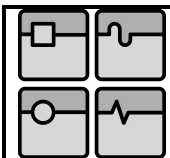
Obr. č.41: Toxická zóna

Červená zóna (TEEL-3) je 69 metrů, oranžová zóna (TEEL-2) je 69 metrů, žlutá zóna (TEEL-1) je 75 metrů.

TEEL-1 – maximální množství ethanolu v okolí organismu, které způsobí slabé podráždění.

TEEL-2 – práh koncentrace ethanolu, jehož důsledkem jsou dráždivé, ale vratné změny zdravotního stavu organismu.

TEEL-3 – koncentrace ethanolu, která má za následek vážné změny organismu.



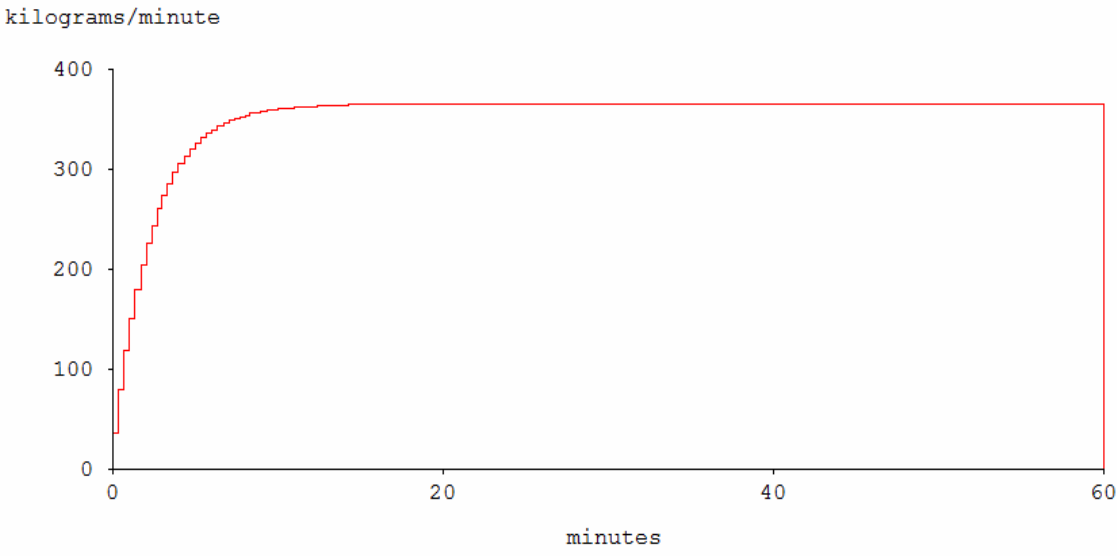
Obr. č.42: Hořlavá oblast

Červená zóna nikdy nebyla překročena, oranžová zóna nikdy nebyla překročena, žlutá zóna je 56 metrů.

Pro ethanol 100 % LEL se rovná 3,3 % při teplotě 20 °C a při atmosférickém tlaku. 10 % LEL znamená, že na vzdalenosti 56 metrů 0,33 % z celkového objemu vzduchu se skládá z ethanolu.

Scénář č. 5.2.

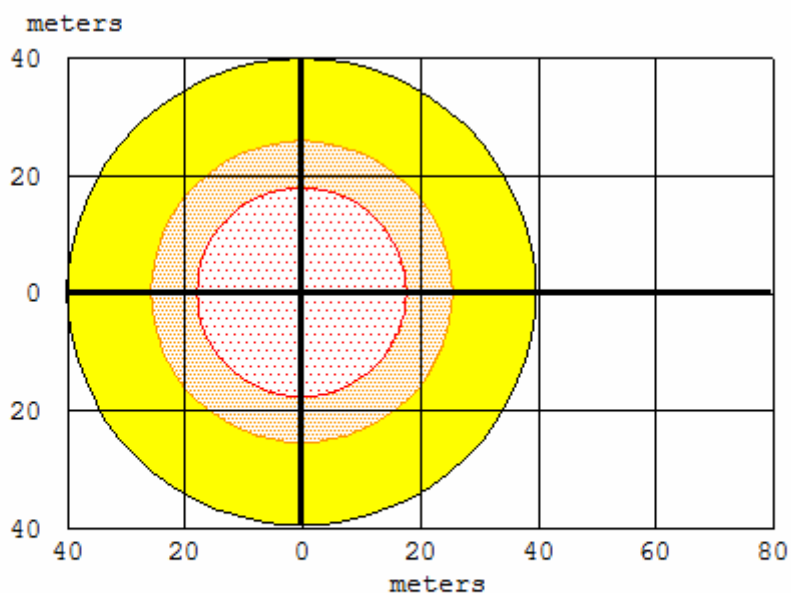
Ethanol hoří, když uniká z valcového vertikálního zásobníku.






Obr. č.43: Rychlost hoření ethanolu v závislosti na čase

Program omezuje dobu úniku během 1 hodiny. Celkové množství spáleného ethanolu je 21 008 kilogramů. Maximální rychlost hoření ethanolu je 364 kg/min. Průměr louže je 16,8 metrů.

Na obrázku číslo 43 lze vidět chybu programu při modelování grafu rychlosti hoření ethanolu, protože rychlost hoření látky ze zásobníku při těchto podmínkách nikdy nemůže být zvýšena.



-  $\geq 10.0 \text{ kW/(sq m)}$ = potentially lethal within 60 sec
-  $\geq 5.0 \text{ kW/(sq m)}$ = 2nd degree burns within 60 sec
-  $\geq 2.0 \text{ kW/(sq m)}$ = pain within 60 sec

Obr. č.44: Zóna tepelného záření

Červená zóna je 18 metrů - potenciálně smrtelná zóna během 60 sekund, oranžová zóna je 26 metrů - způsobuje popáleniny druhého stupně, žluta zóna je 40 metrů - způsobuje bolest.

Nejvýznamnější rozsah pusobení při úniku ethanolu je zona toxického ohrožení, z hlediska následků na zdraví osob je však velmi významné hoření v jímce.

6.6. Shrnutí

Tabulka č.6. Rozsah zón pusobení podle určitých látek

Číslo scénáře	Látka	Zóna toxického ohrožení	Hořlavá oblast	Výbušná oblast	Zóna tepelného záření	Maximální vliv
1.1.	Chlór	20 ppm AELG – 1 je větší než 10 km 2 ppm AELG – 2 je větší než 10 km 0.5 ppm AELG – 3 je 9,8 km	není	není	není	Toxický účinek
2.1.	Čpavek	1100 ppm AELG – 1 je větší než 10 km 160 ppm	160000 ppm - 158 metrů 96000 ppm	8.0 psi – není 3.5 psi – není	není	Toxický účinek

		AELG – 2 je 6 km 30 ppm AELG – 3 je 2,6 km	- 215 metrů 16000 ppm - 578 metrů	1.0 psi – 165 metrů		
Číslo scénáře	Látka	Zóna toxického ohrožení	Hořlavá oblast	Výbušná oblast	Zóna tepelného záření	Maximál ní vliv
2.2.	Čpavek	není	není	není	10.0 kW/(sq m) je 36 metrů 5.0 kW/(sq m) je 63 metrů 2.0 kW/(sq m) je 106 metrů	
2.3.					10.0 kW/(sq m) je 360 metrů 5.0 kW/(sq m) je 522 metrů 2.0 kW/(sq m) je 826 metrů	
3.1.	Propan	není	není	není	10.0 kW/(sq m) je 91 metrů 5.0 kW/(sq m) je 131 metrů 2.0 kW/(sq m) je 204 metrů	
3.2.		33000 ppm=TEEL-3 je 236 metrů 17000 ppm=TEEL-2 je 338 metrů 5500 ppm=	20000 ppm je 310 metrů 12000 ppm je 406 metrů 2000 ppm	8.0 psi není 3.5 psi je 243 metrů 1.0 psi je 441 metrů	není	

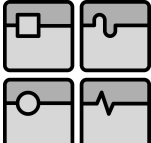
Číslo scénáře	Látka	TEEL-1 je 613 metrů Zóna toxického ohrožení	je 1.1 kilometrů Hořlavá oblast	Výbušná oblast	Zóna tepelného záření	Maximální vliv
3.3.	Propan				10.0 kW/(sq m) je 734 metrů 5.0 kW/(sq m) je 1 kilometr 2.0 kW/(sq m) je 1.6 kilometrů	Zóna tepelného záření podle BLEVE efektu
4.1.	Pentan	1500 ppm TEEL-3 je 289 metrů 610 ppm TEEL-2 je 500 metrů 610 ppm TEEL-3 je 500 metrů	13000 ppm - 79 metrů 7800 ppm - 109 metrů 1300 ppm - 315 metrů	8.0 psi není 3.5 psi je 85 metrů 1.0 psi je 133 metrů		
4.2.					10.0 kW/(sq m) je 45 metrů 5.0 kW/(sq m) je 63 metrů 2.0 kW/(sq m) je 95 metrů	
4.3.					10.0 kW/(sq m) je 1.2 kilometrů 5.0 kW/(sq m) je 1.7 kilometrů 2.0 kW/(sq m)	Zóna tepelného záření podle BLEVE efektu

Číslo scénáře	Látka	Zóna toxického ohrožení	Hořlavá oblast	Výbušná oblast	je 2.6 kilometrů Zóna tepelného záření	Maximální vliv
5.1.	Ethanol	3300 ppm TEEL-3 je 69 metrů 3300 ppm TEEL-2 je 69 metrů 3000 ppm TEEL-1 je 75 metrů	43000 ppm – není 25800 ppm – není 4300 ppm – 56 metrů			Toxický účinek
5.2.					10.0 kW/(sq m) je 18 metrů 5.0 kW/(sq m) je 26 metrů 2.0 kW/(sq m) je 40 metrů	

Z hlediska toxického ohrožení největší vliv mají chlór a čpavek. Pentan a Propan mají největší účinek z hlediska tepelného záření, BLEVE efekt.

K prevenci a snížení následků havárií spojených s únikem těchto látek je nutné umístit výrobní objekty mimo obytné oblasti v případě:

- úniku chlóru a čpavku na vzdálenosti větší než 10 kilometrů od města,
- výbuchu propanu na vzdálenosti větší než 1.6 kilometrů,
- výbuchu pentanu na vzdálenosti větší než 2.6 kilometrů,
- úniku ethanolu na vzdálenosti větší než 80 metrů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Závěr

Tato diplomová práce se zabývá problematikou bezpečnosti průmyslu, konkrétně je zaměřena na možné důsledky nehod s nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky, cílem této práce je popsání závažných světových průmyslových havárií, identifikace typových havárií a provedení analýzy rizik se zaměřením na následky havárie.

V teoretické části práce byl vytvořen definiční aparát, který by odpovídal jak legislativě evropské, tak legislativě ruské. Následně byly popsány vybrány závažné havárie a porovnány s haváriemi, ke kterým došlo v Rusku. Z nastudovaných zdrojů je patrné, že nejčastěji bývá příčinou havárií pouze několik málo chemických látek, které se používají v průmyslu nejčastěji.

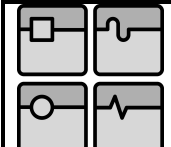
V další části byly vybrány takové chemické látky a následně stanoveny typové havárie (tedy havárie, jež lze považovat za typické pro danou látku), které představují nejvýznamnější rizika. Pro každou vybranou chemickou látku jsou v tabulce přehledně vybrány nejvýznamnější havárie spolu s počtem fatálně zraněných osob.

Protože modelování následků havárie se obvykle realizuje s pomocí softwarových nástrojů, které ulehčují složité výpočty, v kapitole 3 je uveden popis dostupných modelovacích programů (ALOHA, ROZEX, EFFECT). Ten je v závěru této kapitoly doplněn rozhodnutím o výběru software použité pro následné modelování typových havárií v této diplomové práci.

Praktická část diplomové práce se věnuje odhadu následků typových havárií pro vybrané chemické látky (chlór, čpavek, propan, pentan, ethanol). Pomocí software ALOHA bylo provedeno znázornění rozsahu následků těchto nehod v definovaných atmosférických podmínkách. Pro každou látku (pokud to bylo smysluplné) byly namodelovány zóny toxického ohrožení, zóny ohrožení tlakovou vlnou a zóny ohrožení tepelným zářením. Práce byla zaměřená na stanovení dosahu následků v případě závažné havárie na obyvatelstvo žijící v okolí podniku.

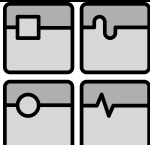
V kapitole 6.6 je obsaženo shrnutí výsledků práce. Výsledků práce by bylo možné použít pro účely územního plánování. Je zřejmé, že existuje skupina nebezpečných látek, u kterých dochází k haváriím nejčastěji, přesto jsou na jejich použití stanoveny stejné požadavky, jako na ostatní nebezpečné látky. Typickým případem je skupina látek označovaných jako LPG (zkapalněné uhlovodíkové plyny), u nichž velmi často dochází k únikům při stáčení/plnění. Pro tyto látky by možná bylo vhodné vytvořit seznam požadavků (pro LPG například použití trhačích spojek), které minimalizují riziko závažných havárií.

Cíle, stanovené v zadání diplomové práce, se podařilo naplnit.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 72
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials : liquids and gases : yellow book. 3rd ed. Committee for the Prevention of Disasters (CPR), 1997.
2. Mannan, Sam. Lees' loss prevention in the process industries : hazard identification, assessment and control. 3rd ed. Elsevier, 2005. ISBN 0-7506-7555-1.
3. ALOHA user's manual. Washington : U.S. Environmental protection agency, 2007.
4. BABINEC, František. Management rizika : Loss Prevention & Safety Promotion. Brno : Slezská Universita v Opavě, Ústav matematiky, 2005.
5. Melkes, V.: Prevence a likvidace havárií. I. Díl. Vysoká vojenská škola pozemního vojská. Vyškov 2000.
6. Zapletalová-Bartlová, I. – Balog, K.: Analýza nebezpečí a prevence průmyslových havárií. SPBI, Ostrava 1998.
7. Zákon č. 157/1998 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích, ve znění pozdějších předpisů.
8. Taylor, J.R.: Risk Analysis for Process Plant, Pipelines and Transport, 1. Edit., London, E and FN Spon Imprint Chapman and Hall, England 1994.
9. Program ROZEX, příručka uživatele, TLP spol. s.r.o., 2001.
10. Baker W.E., Cox P.A., Westine P.S., Kulesz J.J., Strehlow R.A. "Explosion hazards and evaluation". Elsevier, Amsterdam, 1983.
11. Sanders, R. E.: Chemical process safety. Butterworth Heinemann, England, 1999.
12. Bartlová, I. a kol.: Charakteristika havárií spojených s nebezpečnými látkami v chemickém a jiném průmyslu, Ostrava 2003.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 73
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam použitých symbolů a zkratk

TEEL - Temporary Exposure Emergency Limits,

AEGL - Acute Exposure Guideline Levels,

LEL - Lower Explosive Limit,

BLEVE - Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.